

การศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น
ที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม

นางสาวพิชญภรณ์ มาเจริญ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมขนส่ง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2558

**A STUDY OF MOISTURE DAMAGE IN WARM-MIX ASPHALT
CONCRETE WITH RECLAIMED ASPHAL PAVEMENT (RAP)**

Pitchayaporn Macharoen



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2015**

การศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น

ที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้หน่วยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ (ผศ.ดร.รัฐพล ภูบุบผาพันธ์)

ประธานกรรมการ

(_____ รศ.ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห์)

กรรมการ(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(_____ อ.ดร.ณัฐภรณ์ เจริญธรรม)

กรรมการ(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____ (อ.ดร.สุชาติพิทย์ ภูบุบผาพันธ์)

กรรมการ

(_____ อ.ดร.ศาสตราวุฒิ พลบูรณ์)

กรรมการ

_____ (ศ.ดร. ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

_____ (รศ.ร.อ.ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

พิษณุภรณ์ มาเจริญ:การศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม (A STUDY OF MOISTURE DAMAGE IN WARM-MIX ASPHALT CONCRETE WITH RECLAIMED ASPHAL PAVEMENT (RAP))

อาจารย์ที่ปรึกษา : อ.ดร.ณัฐภรณ์ เจริญธรรม, 1XX หน้า

ผิวทางเก่า (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP) ที่ได้จากการบูรณะซ่อมแซมผิวทางแอสฟัลต์และมีการรีไซเคิล สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตใหม่ได้ ซึ่งเป็นการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ โดยปกติการผสมแอสฟัลต์คอนกรีตหรือ Hot Mix Asphalt (HMA) เพื่อใช้ในการก่อสร้างถนนจะกระทำที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นการใช้พลังงานความร้อนที่สูงเพื่อทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์เหลวพอที่จะเคลือบมวลรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพและทั่วถึง กระบวนการดังกล่าวนี้ยังมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาสู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณที่มากอีกด้วย ปัจจุบันได้มีวิธีการผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยลดการใช้พลังงานความร้อนและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยกันหลายวิธี วิธีหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้คือ การใช้สารผสมเพิ่ม (Additive) เพื่อลดความหนืดของแอสฟัลต์ซีเมนต์และช่วยเพิ่มความสามารถในการผสมและบดอัดที่อุณหภูมิต่ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเรียกวิธีดังกล่าวว่าวิธีการผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt, WMA) แต่จากผลการศึกษาในอดีตพบว่าผิวทางที่ใช้วิธีการผสมอุ่นยังมีปัญหาความไวต่อความชื้นเนื่องจากการผสมที่อุณหภูมิต่ำอาจทำให้มีความชื้นหลงเหลืออยู่ในวัสดุมวลรวม ส่งผลให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เคลือบอยู่รอบๆ ผิวมวลรวมแยกตัวออก การศึกษานี้จึงได้ทำการศึกษาความไวต่อความชื้นของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมในอัตราส่วน 0%, 20%, 35% และ 50% โดยใช้สารผสมเพิ่มที่แตกต่างกันสองชนิด ได้แก่ สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์และสารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์ อุณหภูมิผสมที่ 170, 150 และ 130 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาพบว่าการใช้สารผสมเพิ่มและทำการผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความไวต่อความชื้นน้อยกว่าการใช้สารผสมเพิ่มและผสมที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้การใช้ผิวทางเก่า 35% และ 50% เป็นส่วนผสมและทำการผสมที่อุณหภูมิต่ำโดยใช้สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ให้ค่า Tensile Strength Ratio (TSR) มากกว่า 80%

คำสำคัญ: Warm-mix asphalt (WMA), Reclaimed asphalt pavement (RAP), Moisture Susceptibility

สาขาวิชา วิศวกรรมขนส่ง ปลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม _____

PITCHAYAPORN MACHAROEN:A STUDY OF MOISTURE DAMAGE IN WARM-MIX ASPHALT CONCRETE WITH RECLAIMED ASPHAL PAVEMENT (RAP)

THESIS ASVISOR: DR.NATTAPORN CHAROENTHAM, 1XX PP

Reclaimed asphalt pavement (RAP) from existing rehabilitated asphalt pavements that were removed can be used as a mixture for new asphalt concrete production which reduces using of natural resources. Normally, asphalt concrete or hot mix asphalt (HMA) for road construction is mixed at high temperature which requires great amount of energy consumption. This amount of energy must be sufficient to heat asphalt cement to liquidly enough for efficiently and completely coating aggregate. Moreover, such process considerably emits greenhouse gas to the atmosphere. Nowadays, there are many asphalt mix methods that allow reduction of energy consumption and greenhouse gas emission. One of the methods is adding additive into asphalt binder to reduce asphalt viscosity and increase capability of asphalt mixing and compacting at lower temperature. This method has been known as the warm mix asphalt (WMA). Based on literature reviews, the asphalt concrete which is mixed with WMA method still has moisture susceptibility problem. This is because moisture may be remained in aggregate which can affect coated asphalt cement to segregate from aggregate due to loss of cohesion force. Consequently, this study has adopted moisture sensitivity test in warm mix asphalt concrete with various proportions of RAP (0%, 20%, 35% and 50%) and two different type of additives (organic and foam additive) at various mixing temperature (170, 150 and 130°C). Results show that mixing with no additive at 170°C has lower moisture susceptibility than mixing with additives at lower temperature. Besides, mixing with 35% and 50% of RAP and organic additive at lower temperature yields Tensile Strength Ratio (TSR) more than 80%.

Key words: Warm-mix asphalt (WMA), Reclaimed asphalt pavement (RAP), Moisture Susceptibility

School of Transportation Engineering

Academic Year 2015

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

Advisor's Signature _____



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ บุคคลต่าง ๆ รวมไปถึงหน่วยงานราชการและเอกชน ที่ให้คำแนะนำ ปรึกษา และสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้โดยมี

อาจารย์ ดร.ณัฐภรณ์ เจริญธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้การอบรม แนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนแนะนำการเขียนวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่สนับสนุนทุนการศึกษา และกรุณาให้การแนะนำ การเขียนวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณวันเพ็ญ สืบสาย เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สาขาวิศวกรรมขนส่ง ที่ช่วยประสานงานเอกสาร และให้คำปรึกษาแนะนำ

ขอขอบคุณสำนักงานทางหลวงชนบทมหาสารคาม, โรงโมหินศิลาสากลพัฒนา, บริษัท ทิปโก้แอสฟัลต์ จำกัด (มหาชน), บริษัท แซทโซล, บริษัท เบ็นไมเยอร์ เคมีคอล (ที) จำกัด , บริษัท พีคิวเคมีคอลส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณส่วนวิเคราะห์และตรวจสอบทางวิศวกรรม สำนักงานทางหลวงชนบทที่ 5 (นครราชสีมา) รวมไปถึงข้าราชการประจำ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือ ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจนให้ความรู้ ส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

พิชญภรณ์ มาเจริญ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. การทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แอสฟัลต์คอนกรีต.....	4
2.2 วัสดุผิวทางเก่า Reclaim Asphalt Pavement (RAP).....	6
2.3 การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลล์.....	11
2.4 เทคโนโลยีการผสมอุ่น.....	15
2.5 ความเสียหายเนื่องจากความชื้นในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	20
3. การดำเนินการศึกษา.....	32
3.1 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสม.....	33
3.2 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์.....	39
3.3 การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม.....	45

สารบัญ (ต่อ)

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม.....	50
3.5 การเตรียมก้อนตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบความไวต่อความชื้น.....	53
3.6 การทดสอบความไวต่อความชื้น.....	55
3.7 การวิเคราะห์ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม.....	56
4. การวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผลการทดสอบ.....	57
4.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม.....	57
4.2 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น(Moisture Susceptibility).....	72
5. สรุปผลการศึกษา.....	76
5.1 สรุปผลการทดสอบ.....	76
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	77
รายการอ้างอิง.....	78
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	82
ภาคผนวก ข.....	155
ภาคผนวก ค.....	162
ประวัติผู้เขียน.....	183

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับใช้วัสดุผิวทางเก่า (RAP) เป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต...9	
2.2ใช้ปรับแก้ค่าเสถียรภาพ (Stability) ที่เทียบเท่ากับมาตรฐาน.....14	
2.3ปริมาณการใช้แก่สัรรรมชาติที่ลดลงเมื่อใช้สารผสมเพิ่มในกระบวนการผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแบบอุ่น.....15	
2.4ผลิตภัณฑ์ของสารผสมเพิ่มที่มีลักษณะ โฟม.....17	
2.5ผลิตภัณฑ์ของสารผสมเพิ่มที่เป็นสารอินทรีย์.....18	
2.6ผลิตภัณฑ์ของสารผสมเพิ่มที่เป็นเคมี.....19	
2.7 วิธีการทดสอบแบบ Loose Mixture20	
2.8 วิธีการทดสอบแบบ Compacted Mixture23	
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต.....28	
3.1ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด60/7033	
3.2ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมใหม่.....35	
3.3 ผลการทดสอบหาขนาดคละ (Gradation) ของวัสดุมวลรวมใหม่..... 36	
3.4ผลการทดสอบหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (%AC) ใน RAP จากการสุ่มตัวอย่าง.....37	
3.5การกระจายขนาดอนุภาคของวัสดุผิวทางเก่า(RAP)แบบไม่ล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์....38	
3.6การกระจายขนาดอนุภาคของวัสดุผิวทางเก่า(RAP)แบบล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์.....38	
3.7การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่ 0:100....40	
3.8การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่ 20:80....40	
3.9การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 35:65...41	
3.10การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP)ต่อวัสดุมวลรวมใหม่50:50...41	
3.11ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ P_0 สำหรับอัตราส่วนRAP ต่อมวลรวมใหม่:100...43	
3.12ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ P_0 สำหรับอัตราส่วนRAP ต่อมวลรวมใหม่20:80...43	
3.13ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ P_0 สำหรับอัตราส่วนRAP ต่อมวลรวมใหม่35:65...43	

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.14 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ P_0 สำหรับอัตราส่วนRAP ต่อมวลรวมใหม่50:50....	43
3.15 ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับอัตราส่วนผสมวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่เท่ากับ0:100.....	44
3.16 ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับอัตราส่วนผสมวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่เท่ากับ 20:80.....	45
3.17 ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับอัตราส่วนผสมวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่เท่ากับ35:65.....	45
3.18 ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับอัตราส่วนผสมวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่เท่ากับ50:50.....	45
3.19 รายการเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต โดยมาร์แชลล์.....	46
3.20 ปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ที่เหมาะสมและปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ใหม่ ที่ต้องการที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%.....	51
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อใช้ ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม	57
4.2 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น	72

สารบัญญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 วัสดุผิวทางเดิมที่ถูกขูดออกมาเพื่อเตรียมนำกลับมาใช้ใหม่.....	7
2.2 เครื่องกวดทดสอบมาร์แชลล์.....	12
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง %ยางแอสฟัลต์และคุณสมบัติต่างๆของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต.....	13
2.4 ลักษณะของสารผสมเพิ่มชนิด โฟม(Advera®)	17
2.5 ลักษณะของสารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ (Sasobit ®).....	18
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา.....	32
3.2 สารผสมเพิ่มที่ใช้ในการทดสอบ.....	34
3.3 วัสดุมวลรวมใหม่ประเภทหินปูนที่ใช้ในการศึกษา.....	34
3.4 ขนาดคละ (Gradation) ของวัสดุมวลรวมใหม่.....	36
3.5 วัสดุผิวทางเก่าที่ใช้ในการศึกษา.....	37
3.6 ขนาดคละของวัสดุผิวทางเก่า แบบไม่ล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์.....	38
3.7 ขนาดคละของวัสดุผิวทางเก่า แบบล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์	39
3.8 อัตราส่วนผสมชั้นทางBinder Courseขนาด ¾ นิ้ว.....	42
3.9 เครื่องบดอัดอัตโนมัติ	47
3.10 ตรวจสอบอุณหภูมิด้วยInfrared Thermometer Gun.....	48
3.11 ตัวอย่างที่ดันออกจากแบบหล่อ	48
3.12 แสดงการเปรียบเทียบผิวหน้าของแอสฟัลต์ซีเมนต์ก่อนและหลังผสมกับสารผสมเพิ่ม Sasobit®.....	49
3.13 การเตรียมตัวอย่างการผสม	50
3.14 ปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ ที่เหมาะสม เมื่อช่องว่างอากาศเท่ากับ 4% จำแนกตามอัตราส่วนของวัสดุ.....	52
3.15 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ที่ต้องการ จำแนกตามอัตราส่วนของวัสดุ.....	53
3.16 ก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบความไวต่อความชื้น	54

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.17การเตรียมตัวอย่างในสภาวะเปียก.....	54
3.18 การทดสอบแรงดึงทางอ้อม.....	55
4.1 เปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาคจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่.....	59
4.2เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์จำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่	60
4.3ความหนาแน่นจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่.....	61
4.4ค่าเสถียรภาพจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่.....	61
4.5ค่าเสถียรภาพเมื่อไม่ใช้สารผสมเพิ่ม.....	62
4.6ค่าเสถียรภาพเมื่อใช้สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์	62
4.7ค่าเสถียรภาพเมื่อใช้สารผสมเพิ่มชนิดโพลี	63
4.8ความแตกต่างของค่าเสถียรภาพจากการตัวอย่างที่ใช้สารผสมเพิ่มเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการใช้สารผสมเพิ่มที่ถูกผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส	64
4.9ค่าการไหลจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่.....	65
4.10ค่าการไหลเมื่อไม่ใช้สารผสมเพิ่ม.....	65
4.11ค่าการไหลเมื่อใช้สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์	66
4.12ค่าการไหลเมื่อใช้สารผสมเพิ่มชนิดโพลี	66
4.13ความแตกต่างของค่าการไหลจากการตัวอย่างที่ใช้สารผสมเพิ่มเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการใช้สารผสมเพิ่มที่ถูกผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส	67
4.14ค่าMarshall Quotient จำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่.....	68
4.15ค่า Marshall Quotient เมื่อไม่ใช้สารผสมเพิ่ม.....	69
4.16ค่า Marshall Quotient เมื่อใช้สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์	69
4.17ค่า Marshall Quotient เมื่อใช้สารผสมเพิ่มชนิดโพลี	70
4.18ความแตกต่างของค่า Marshall Quotient จากการตัวอย่างที่ใช้สารผสมเพิ่มเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการใช้สารผสมเพิ่มที่ถูกผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส.....	71
4.19 ผลการทดสอบค่าแรงดึงทางอ้อมในสภาวะเปียกและสภาวะแห้ง.....	73
4.20ผลการทดสอบค่า Tensile Strength Ratio (TSR).....	74



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การก่อสร้างผิวทางลาดยางแอสฟัลต์ (Asphalt Pavement) ที่นิยมใช้ในประเทศไทยคือวิธีการผสมร้อน (Hot Mix Asphalt ; HMA) จะต้องใช้อุณหภูมิผสมสูงถึง 159±8 องศาเซลเซียส (มาตรฐานที่ ทล.-ม.408/2532) ในการให้ความร้อนกับยางแอสฟัลต์เพื่อให้เหลวพอที่จะเคลือบมวลรวม (Aggregate) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งวิธีดังกล่าวนำไปสู่การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณมาก ในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา มีการตระหนักถึงผลของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน จึงนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อลดการใช้พลังงาน ในการเตรียมส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้สารผสมเพิ่ม (Additive) ซึ่งวัตถุประสงค์ เพื่อลดความหนืดหรือลดแรงเสียดทานของผิวยางแอสฟัลต์ หรือเพิ่มปริมาตรของยางแอสฟัลต์ เพื่อให้สามารถเคลือบมวลรวมได้ที่อุณหภูมิต่ำลง โดยเรียกวิธีการนี้ว่าเทคโนโลยีผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt ; WMA)

ในขณะที่เดียวกันเมื่อผิวทางถูกใช้งานเป็นระยะเวลาหนึ่ง จำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุงผิวทางใหม่ ซึ่งผิวทางเดิมที่ถูกขูดใส่ (Reclaim Asphalt Concrete; RAP) สามารถนำมาหมุนเวียนใช้งานใหม่ได้ (FHWA, 1993) โดยงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า วัสดุผิวทางเก่า (RAP) เหล่านี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ วัสดุใหม่ตาม ธรรมชาติ และสามารถใช้ก่อสร้างได้จริง อย่างไรก็ตามผิวทางประเภทนี้มักเกิดความเสียหายก่อนอายุการใช้งานหรือการซ่อมบำรุง ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุเช่น น้ำหนักบรรทุกทุกปริมาณการจราจรการออกแบบ ผิวทางที่ไม่เหมาะสม และ สภาพภูมิอากาศ ซึ่งความเสียหายที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศ เช่น ความไวต่อความชื้น (Moisture Susceptibility) เป็นสาเหตุของการชำรุดเสียหายของผิวทางลาดยางมากกว่าร้อยละ 50 โดยการชำรุดเสียหายจะเกิดจากการแยกตัวของแอสฟัลต์ที่เคลือบรอบๆ ผิวมวลรวม (Aggregate) หรืออาจเกิดจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างยางแอสฟัลต์และมวลรวม โดยการชำรุดเสียหายชนิดนี้เรียกว่า Stripping (Parker และ Gharaybeh, 1998)

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสม
อุณหที่มีวัสดุผิวทางเก่า (RAP) เป็นส่วนผสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุณหที่มีวัสดุผิวทางเก่า (RAP) เป็นส่วนผสมในมวลรวม
2. เพื่อหาอัตราส่วนผสมระหว่าง วัสดุผิวทางเก่า (RAP) และวัสดุมวลรวมใหม่ ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ
3. เพื่อศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมโดยวิธีการผสมอุณหเปรียบเทียบกับวิธีการผสมร้อน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผิวทางเก่า (RAP) และวัสดุมวลรวมใหม่ตามธรรมชาติทั้งหมด 4 อัตราส่วน ได้แก่ 0:100, 20:80, 35:65 และ 50:50 โดยใช้สารผสมเพิ่มที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ ไม่มีสารผสมเพิ่ม, สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ (Sasibit[®]) และสารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์ (Advera[®]) และใช้อุณหภูมิผสมที่แตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส อีกทั้งทำการศึกษาค่าความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์ชนิดผสมอุณห โดยการออกแบบวิธีมาร์แชลล์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานชั้นทางที่ ทล.ม.408/2532 สำหรับชั้นทาง Binder Course ขนาด 3/4" (19 มิลลิเมตร)

วัสดุมวลรวมธรรมชาติ ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นชนิดหินปูน (Limestone) ซึ่งได้มาจากโรงโม่หินศิลาสากลพัฒนา อำเภอบางบาล จังหวัดนครราชสีมา และ ใช้วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ที่ได้จากการขุดไสผิวทางจาก ถนนสาย ทล.291 ตอนทางเลี่ยงเมืองมหาสารคาม ช่วง กม.1+140 ถึง กม.2+209 คั่นทางด้านขวาวจังหวัดมหาสารคาม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงการใช้เทคโนโลยีผสมอุณหในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยมีวัสดุผิวทางเก่า (RAP) เป็นส่วนผสมในมวล ซึ่งเป็นการช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและลดการทำลายสิ่งแวดล้อม

2. ทำให้ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างวัสดุผิวทางเก่า (RAP) วัสดุผิวทางใหม่ และ ปริมาณแอสฟัลต์ในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้วิธีผสมอุ่น เพื่อลด ปัญหาความเสียหายเนื่องจากความชื้น
3. ทำให้เป็นแนวทางในการเลือกใช้เทคโนโลยีผสมอุ่นในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์ คอนกรีตโดยมีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม ให้กับหน่วยงานหรือผู้เกี่ยวข้องในการ ก่อสร้างผิวทางทั้งภาครัฐและเอกชน



บทที่ 2

การทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาหาอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผิวทางเก่า (RAP) และวัสดุมวลรวมใหม่ที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและทำการศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นที่มีวัสดุผิวทางเก่า (RAP) เป็นส่วนผสมในบทนี้เป็นการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. แอสฟัลต์คอนกรีต
2. วัสดุผิวทางเก่า (Reclaim Asphalt Pavement; RAP)
3. การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลล์
4. เทคโนโลยีการผสมอุ่น
5. ความเสียหายเนื่องจากความชื้นในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

2.1 แอสฟัลต์คอนกรีต

แอสฟัลต์คอนกรีต คือ วัสดุผสมที่ได้จากการผสมระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) กับวัสดุมวลรวม (Aggregate) เพื่อใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างถนน พฤติกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นแบบ Viscoelastic โดยค่าความแข็ง (Stiffness) แปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิโดยช่วงเวลาที่น้ำหนักระทำระยะเวลาอันสั้นวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์จะมีพฤติกรรมเป็นโมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic Material) แต่เมื่อได้รับน้ำหนักกระทำเป็นระยะเวลานาน แอสฟัลต์คอนกรีตจะเปลี่ยนพฤติกรรมเป็น Viscous Material (Poel, 1954)

2.1.1 แอสฟัลต์ซีเมนต์

แอสฟัลต์ (Asphalt) หรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) มีสารบิโทเมนเป็นส่วนประกอบหลัก อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่พบแทรกอยู่ในชั้นหินยางมะตอย (Rock Asphalt) หรืออาจเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนในกระบวนการกลั่นปิโตรเลียมดิบ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่าปิโตรเลียมแอสฟัลต์

แอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับงานก่อสร้างถนนมี 2 ชนิดคือแอสฟัลต์ซีเมนต์และแอสฟัลต์เหลว โดยแอสฟัลต์ซีเมนต์จะมีลักษณะเป็นสีดำและเหนียวหนืดประกอบด้วยโมเลกุลของ

ไฮโดรคาร์บอน (HC) และโมเลกุลของอะตอมอื่น ๆ เช่น ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) จึงทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานหรือยึดเกาะกันกับอนุภาคได้เป็นอย่างดี สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำทนต่อสภาพการเป็นกรด-ด่าง และมีความอ่อนตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ด้วยคุณสมบัติสถานะของแอสฟัลต์ซีเมนต์จะเป็นของแข็งเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิปกติ จึงจำเป็นที่จะต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนแอสฟัลต์ซีเมนต์เป็นสถานะของเหลว หรือมีความหนืดพอที่จะใช้งานได้ โดยมีการจำแนกประเภทของแอสฟัลต์คอนกรีตตามความหนืดที่วัดในหน่วยใน 100 ส่วนของพอยส์ $\pm 20\%$ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

2.1.2 ตัวแปรทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต

- ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (*Asphalt Cement*) คือตัวแปรที่สำคัญเป็นอย่างมากที่สุดในการกำหนดคุณสมบัติของผิวทางแบบยึดหยุ่น ซึ่งปริมาณแอสฟัลต์ต้องมีค่าถูกต้องและแน่นอน ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมต่อแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมวลรวมได้แก่ ขนาดละเอียด (*Gradation*) ลักษณะความเหลี่ยมมน (*Angularity*)
- ช่องว่างอากาศ (*Air voids*) คือช่องว่างระหว่างมวลรวม และถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์ ช่องว่างอากาศ ถูกออกแบบเพื่อรองการขยายตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เป็นการป้องกันการเกิดร่องล้อ
- ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (*Void in Mineral Aggregate, VMA*) คือปริมาณช่องว่างทั้งหมดที่อยู่ระหว่างมวลรวม ในแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งช่องว่างระหว่างมวลรวมบางส่วนจะถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมสูง จะมีความทนทานต่อการใช้งานต่ำ
- ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีต (*Density*) หมายถึง ปริมาณมวลรวมของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ต้องออกแบบให้มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 98% ของความหนาแน่นที่ได้จากห้องทดสอบ

2.1.3 คุณสมบัติทางวิศวกรรมที่พิจารณาสำหรับการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

- ความคงทน (*Durability*) ผิวทางยึดหยุ่นต้องมีความสามารถในการต้านทานการเสื่อมสภาพ (*Disintegration*) ของถนน อันเป็นผลมาจากสภาพการจราจร และการแปรผันของฤดูกาลตลอดอายุการใช้งาน
- เสถียรภาพ (*Stability*) ผิวทางยึดหยุ่นต้องมีความสามารถในการรองรับน้ำหนักจากการจราจร โดยไม่มีการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (*Deformation*) และการมีแรงยึดเกาะ (*Cohesion*) ระหว่างเม็ดของมวลรวม หากผิวของมวลรวมหยาบและความขรุขระจะส่งผลให้แอสฟัลต์คอนกรีตนั้นมีเสถียรภาพที่ตีรวมถึงมีการยึดเกาะกันที่ดีกับแอสฟัลต์ใน

- อุณหภูมิปกติอีกด้วย ดังนั้นควรออกแบบให้มีปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมที่เหมาะสม หากมีปริมาณแอสฟัลต์สูงกว่าที่ควร จะส่งผลให้ความเสียดทานระหว่างมวลรวมลดลง
- ความง่ายในการบดอัดและก่อสร้าง (*Workability*) ตัวแปรที่กำหนด *Workability*คือขนาดคละของมวลรวม ส่วนมากการเลือกใช้ขนาดคละที่มีขนาดใหญ่เกินไป หรือการใช้มวลรวมที่มีขนาดคละไม่ดี เช่น การใช้อนุภาคมวลรวมขนาดกลางมากเกินไป รวมถึงการใช้ อุณหภูมิในการผสมที่ต่ำเกินไป ส่งผลให้แอสฟัลต์คอนกรีตไม่สามารถเคลือบผิวมวลรวม ได้ดี
 - ความต้านทานต่อการล้า (*Fatigue Resistance*) ต่อแรงกระทำแบบซ้ำไปซ้ำมา (*Cyclic Loading*) จากการที่น้ำหนักสัญจรบนผิวทาง หากบดอัดผิวทางไม่ดี (ปริมาณช่องว่างอากาศมีมากหรือน้อยเกินไป) หรือการเลือกใช้แอสฟัลต์ที่มีคุณภาพต่ำ จะทำให้ผิวทาง แอสฟัลต์เกิดการล้าได้ง่าย
 - ความต้านทานต่อการลื่นไถล (*Skid Resistance*) ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจำเป็นต้องมีความต้านทานมากพอที่จะป้องกันหรือลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุเนื่องมาจากการลื่นไถลใน สถานะที่ไม่ปกติได้ เช่น ฝนตก หมอกหนา ฯลฯ การออกแบบที่มีการใช้แอสฟัลต์ ซีเมนต์ ในปริมาณที่มากเกินไป ส่งผลให้เกิดการเยิ้ม (*Bleeding*) หรือการใช้มวลรวมที่มีผิวเรียบ จึง ทำให้แอสฟัลต์ ซีเมนต์ ยึดเกาะผิวมวลรวมได้ไม่ดี นอกจากนี้การออกแบบที่มีการใช้ ขนาดคละที่ไม่เหมาะสมก็ยังมีผลต่อคุณสมบัติต้านทานต่อการลื่นไถลอีกด้วย

2.2 วัสดุผิวทางเก่า Reclaim Asphalt Pavement (RAP)

ชั้นผิวทางเมื่อมีการเปิดใช้งานเป็นระยะเวลาหนึ่งมักจะเสื่อมสภาพเนื่องมาจากหลาย ๆ ปัจจัยทั้งการเสื่อมสภาพจากการรับน้ำหนักบรรทุกที่เกินขนาด การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ เนื่องจากฤดูกาลหรือแม้แต่การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศหรืออุณหภูมิในแต่ละวัน ฯลฯ ดังนั้นจึง จำเป็นต้องมีการซ่อมแซมหรือบูรณะชั้นผิวทาง โดยการบดไส (*Milling*) เพื่อลอกชั้นผิวทางเดิมออก โดยผิวทางที่ได้จากการลอกออกนี้เองคือวัสดุที่เรียกว่า Reclaim Asphalt Concrete หรือ RAP แสดง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วัสดุผิวทางเดิมที่ถูกขูดออกมาเพื่อเตรียมนำกลับมาใช้ใหม่

ในช่วงเวลา 20 กว่าปีที่ผ่านมา FHWA และ U.S. Environmental Protection Agency ได้ประเมินว่าในสหรัฐอเมริกาได้มีการใช้งานแอสฟัลต์มากกว่า 90 ล้านตัน โดย 80% จากทั้งหมดเป็นผิวทางเดิมที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ (D. Bloomquist และคณะ, 1993) เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้แทนมวลรวม หรือใช้ผสมร่วมกับมวลรวมในการซ่อมแซมหรือก่อสร้างใหม่ นอกจากนั้นยังสามารถนำไปใช้เป็นการชั้นทาง ชั้นดินคันทาง นำไปปรับปรุงชั้นทางเดิม หรือนำไปเป็นดินถมได้ จึงกล่าวได้ว่าประโยชน์หลักๆของวัสดุผิวทางเก่า (RAP) มี 2 ประการคือ ประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมวัสดุผิวทางเก่า (RAP) จึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในอุตสาหกรรมแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่สามารถนำมาใช้แทนมวลรวมใหม่ หรือใช้ร่วมกับมวลรวมใหม่ได้ ดังนั้นปริมาณในการใช้งานก็เป็นปัจจัยที่ต้องพิจารณาคูณสมบัติทางวิศวกรรมด้วยเช่นกัน Shu และคณะ (2008) ได้ทดลองประเมินความล้าจากการใช้ RAP ที่มากกว่า 30% ด้วยวิธีการทดสอบคือ Beam fatigue test และ Superpave พบว่าที่ปริมาณวัสดุผิวทางเก่าน้อยส่งผลให้ความต้านทานความล้าต่ำ, Audrey Copeland (2011) กล่าวว่าโดยทั่วไปมักใช้อัตราส่วนวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่ 25% ขึ้นไปแต่สำหรับการก่อสร้างที่ชั้นผิวบนไม่ควรออกแบบให้มีขนาดเกิน 30% ส่วนชั้นทางสามารถเพิ่มปริมาณวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ขึ้นอีกได้ ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้เกิดงานวิจัยอย่างมากมายในการออกแบบใช้วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ที่อัตราส่วนต่างๆที่เหมาะสม โดยตอนต้นในงานวิจัยมักเป็นการศึกษาโดยใช้เทคโนโลยีแบบผสมร้อน เช่น Rodrigo Miró และคณะ (2011) ทำการศึกษานี้มุ่งเน้นทำการศึกษา modulus สูงของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เกรดต่ำ และ

RAP ที่ 4 อัตราส่วนคือ 0%, 15%, 30% และ 50% ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ได้แก่ stiffness modulus, toughness, ความไวต่อความชื้น, การต้านทานการเกิดร่องลือและความล้า จากการทดสอบพบว่า เมื่อปริมาณRAP มากให้ค่าสมบัติต่างๆที่ดี จึงแนะนำว่าให้ใช้ RAP 30% , Gonzalo Valdés และคณะ (2010) ทำการทดสอบพฤติกรรมเชิงกลของยางเมื่อผสมกับ RAP 2 อัตราส่วนคือ 40% และ 60% (ใช้หิน 2 ขนาดคือ 12 และ 20 มม.) ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลจากการทดสอบ Stiffness modulus, indirect tensile strength, การแตกร้าวและศึกษาพฤติกรรมของความล้า ผลการทดสอบพบว่าที่ RAP ที่มีปริมาณ สูงเมื่อผสมกับยางแล้วจะให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด, Mogawer และคณะ (2009) ก็ได้ทำการวิจัยโดยใช้วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ที่อัตราส่วนมากกว่า 40% พบว่าความต้านทานการแตกร้าวลดลงเมื่อปริมาณวัสดุผิวทางเก่า (RAP) เพิ่มมากขึ้น, Yuhong Wang (2016) ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของผิวทางที่ถูกบดรวมใหม่โดยเปรียบเทียบระหว่างผิวทางที่ถูกซ่อมแซมด้วย RAP และผิวทางที่ถูกซ่อมแซมด้วยมวลรวมใหม่ โดยใช้วัสดุจาก 18 แหล่งจาก 18 รัฐในประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ทดสอบความต้านทานความล้า รอยแตกตามขวาง รอยแตกตามยาว ร่องลือ และ ความขรุขระ ผลการทดสอบพบว่าวัสดุมวลรวมใหม่ มีประสิทธิภาพเหนือกว่า RAP ในเรื่องของการต้านทานการแตกร้าว, การต้านทานการเกิดร่องลือ และนุ่มนวลกว่าเมื่อซ่อมแซมแบบบางและ less treated ในขณะเดียวกัน RAP จะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าวัสดุมวลรวมใหม่ในเรื่องของ การต้านทานการเกิดร่องลือ และนุ่มนวลกว่าเมื่อซ่อมแซมแบบหนาและแบบ pre- treated

ไม่เพียงแต่มีการพิจารณาใช้ผิวทางเก่านำมาออกแบบส่วนผสมใหม่เท่านั้น เนื่องจากปัจจุบันได้มีการประยุกต์วัสดุผิวทางเก่า (RAP) เข้าใช้กับเทคโนโลยีผสมอุ่น จึงเกิดงานวิจัยที่ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ WMA-RAPที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ในปริมาณที่สูงก็จะเป็นประโยชน์ในด้านเศรษฐศาสตร์ แต่อาจไม่ส่งผลดีในด้านคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม เนื่องจากอาจส่งผลต่อความเสียหายของผิวทางได้เช่นกัน , Zhao และคณะ(2012) ได้ทดสอบการต้านทานการเกิดร่องลือ,ความไวต่อความชื้นและความต้านทานความล้า ด้วยการเติมสารผสมเพิ่มชนิดโพลีพบที่อัตราส่วนของวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ที่มากขึ้นมีความต้านทานการเกิดร่องลือที่มากขึ้น ด้านทานความชื้นได้ดียิ่งขึ้น และด้านทานความล้าได้ดีขึ้นเช่นกัน Martina Irene Giani และคณะ (2015) มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการก่อสร้าง 2 แบบคือการประยุกต์ใช้ WMA เข้ากับ RAP ที่ผสมในแพลนท์ และ Cold-in place recycling (CIR) จากการทดสอบพบว่า WMA -RAP ที่ผสมในแพลนท์ลด CO₂ ลงได้ 12% ลดการใช้พลังงานลงได้ 15% Marisa Dinis-Almeida (2016) การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ RAP 100% โดยวิธีผสมอุ่น ทดสอบหลายวิธีเช่นวิธีมาร์แชลล์ , วิธี immersion

compression, ความไวต่อความชื้น, ทดสอบ stiffness modulus, การต้านทานความล้าและการเกิดร่องล้อ ผลการทดสอบพบว่าวิธีดังกล่าวให้ผลเทียบเคียงกับวิธีการผสมร้อน

โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุผิวทางเก่า (RAP) เป็นสารผสมในแอสฟัลต์คอนกรีตสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุผิวทางเก่า (RAP) เป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต

ผู้ศึกษา	ปริมาณวัสดุผิวทางเก่าที่แนะนำ	ผลการศึกษา
Shuและคณะ (2008)	มากกว่า30%	ได้ทดลองประเมินความล้าจากการใช้ RAP ที่มากกว่า 30%ด้วยวิธีการทดสอบที่แตกต่างกันคือ Beam fatigue testและ Superpave IDT พบว่าที่ปริมาณวัสดุผิวทางเก่าน้อยมีส่งผลให้ความต้านทานความล้าที่ต่ำ
Mogawer และคณะ (2009)	มากกว่า 40%	ความต้านทานการแตกร้าวลดลงเมื่อปริมาณวัสดุผิวทางเก่า (RAP) เพิ่มมากขึ้น
Gonzalo Valdés (2010)	N/A	ทำการทดสอบพฤติกรรมเชิงกลของยางเมื่อผสมกับRAP 2 อัตราส่วนคือ40% และ60% (ใช้หิน2 ขนาดคือ12 และ20 มม.) ทำการศึกษาคูณสมบัติเชิงกลจากการทดสอบ Stiffness modulus, indirect tensile strength, cracking และ fatigue behaviorผลการทดสอบพบว่าที่RAP สูงเมื่อผสมกับยางแล้วจะให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด
Rodrigo Miró (2011)	30%	การศึกษานี้มุ่งเน้นทำการศึกษामodulus สูงของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เกรดต่ำ และRAP สูงที่4 อัตราส่วนคือ0%, 15%, 30% และ50% ทำการศึกษาคูณสมบัติเชิงกล(Mechanical properties) ได้แก่ stiffness modulus, toughness, moisture sensitivity, resistance to rutting and fatigue resistance

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับใช้วัสดุผิวทางเก่า (RAP) เป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต (ต่อ)

ผู้ศึกษา	ปริมาณวัสดุผิวทางเก่าที่แนะนำ	ผลการศึกษา
		จากการทดสอบพบว่า ที่RAP มากให้ค่าสมบัติต่างๆที่ดี มีการแนะนำว่าให้ใช้ RAP ที่ 30%
Audrey Copeland (2011)	25 %ขึ้นไป แต่สำหรับชั้นผิวทางไม่ควรเกิน30%	การนำไปใช้ก่อสร้างผิวทางควรออกแบบให้มีขนาดไม่เกิน 30% ส่วนชั้นทางสามารถเพิ่มปริมาณวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ขึ้นอีกได้
Zhao และคณะ (2012)	N/A	ทดสอบการต้านทานการเกิดร่องล้อ ,ความไว้วางใจต่อความชื้น และความต้านทานความล้า ด้วยการเติมสารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์ที่อัตราส่วนของวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ที่มากขึ้นมีความต้านทานการเกิดร่องล้อที่มากขึ้นต้านทานความชื้นได้ดียิ่งขึ้น และต้านทานความล้าได้ดีขึ้นเช่นกัน
Martina Irene Gianì (2015)	N/A	มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการก่อสร้าง 2 แบบคือการประยุกต์ใช้ WMA เข้ากับ RAPที่ผสมในแพลนท์ และ Cold-in place recycling (CIR) จากการทดสอบพบว่า WMA +RAPที่ผสมในแพลนท์ลด CO ₂ ลงได้ 12% ลดการใช้พลังงานลงได้15%
Yuhong Wang (2016)	N/A	ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของผิวทางที่ถูกบูรณะซ่อมแซมใหม่โดยเปรียบเทียบระหว่างผิวทางที่ถูกซ่อมแซมด้วย RAP และผิวทางที่ถูกซ่อมแซมด้วยมวลรวมใหม่

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับใช้วัสดุผิวทางเก่า (RAP) เป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต (ต่อ)

ผู้ศึกษา	ปริมาณวัสดุผิวทางเก่าที่แนะนำ	ผลการศึกษา
		ทดสอบความต้านทานความล้า รอยแตกตามขวาง รอยแตกตามยาว ร่องล้อ และความขรุขระผลการทดสอบพบว่าวัสดุผสมรวมใหม่มีประสิทธิภาพเหนือกว่า RAP ในเรื่องของการต้านทานการแตกร้าว, การต้านทานการเกิดร่องล้อ และนุ่มนวลกว่าเมื่อซ่อมแซมแบบบางและ less treated ในขณะที่เดียวกัน RAP จะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าวัสดุผสมรวมใหม่ในเรื่องของการต้านทานการเกิดร่องล้อ และนุ่มนวลกว่าเมื่อซ่อมแซมแบบหนาและแบบ pre-treated
Marisa Dinis-Almeida และคณะ (2016)	N/A	การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ RAP 100% โดยวิธีผสมอุ่น ทดสอบวิธีมาร์แชลล์, immersion compression, ความไวต่อความชื้น, stiffness modulus, การต้านทานความล้า, การเกิดร่องล้อ ผลการทดสอบพบว่าวิธีดังกล่าวให้ผลเทียบเท่ากับวิธีการผสมร้อน

2.3 การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลล์

วิธีการดังกล่าวออกแบบและพัฒนาโดย Bruce Marshall หลังจากนั้น U.S. Corps of engineerings ได้พัฒนาและปรับปรุงวิธีการแล้วกำหนดให้เป็นมาตรฐานการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต ASTM D6926 Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus และ ASTM D6927 Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures

วิธีการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ จะกำหนดหินขนาดใหญ่ที่สุดที่ 25 มิลลิเมตรหรือ 1 นิ้ว โดยทำการเตรียมก้อนตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มิลลิเมตร สูง 64 มิลลิเมตร ซึ่งต้องทำตามวิธีการและส่วนผสมที่กำหนดไว้ในเรื่องของการให้ความร้อน (Heating), การผสม (Mixing) และการบดอัด (Compaction) ส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์กับมวลรวม

ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D6926 Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus และนำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบมาร์แชลล์ดัง แสดงในรูปที่ 2.2

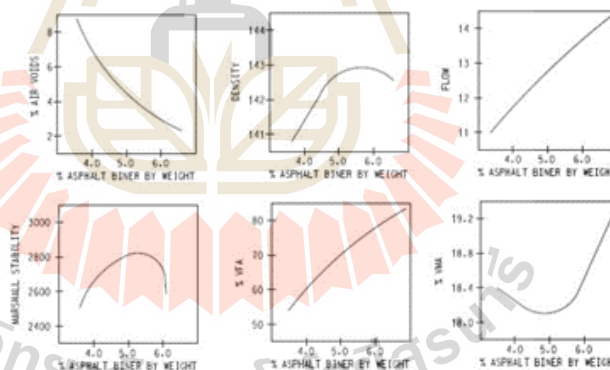


รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบมาร์แชลล์

การหาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content) หรือหาส่วนขนาดละ ของมวลรวม (Aggregate Gradation) จะแบ่งชุดตัวอย่างทดสอบออกเป็นหลาย ๆ ชุด โดยแต่ละชุด นั้นตัวอย่างที่ทดสอบจะมีปริมาณแอสฟัลต์แตกต่างกัน สำหรับการทดสอบจะจัดให้ชุดตัวอย่าง ทดสอบมีปริมาณแอสฟัลต์แตกต่างกัน โดยเพิ่มครั้งละ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และผลที่จะนำไปเขียนกราฟ นั้นควรมีค่าปริมาณแอสฟัลต์อย่างน้อย 2 ค่าก่อนถึงค่าแอสฟัลต์ที่เหมาะสม และมีอย่างน้อย 2 ค่า ที่ เลยค่าแอสฟัลต์ที่เหมาะสมไปแล้ว โดยที่ทำการผลิตทำก้อนตัวอย่างเป็นจำนวน 3 ก้อนตัวอย่างต่อ ปริมาณแอสฟัลต์หนึ่ง ๆ ดังนั้นในการศึกษาการออกแบบส่วนผสมร้อนโดยทั่วไปใช้ปริมาณ แอสฟัลต์แตกต่างกัน 5 ค่า จะต้องการตัวอย่างทดสอบ 15 ตัวอย่าง แต่ละก้อนตัวอย่างจะมีน้ำหนัก รวมประมาณ 1,200 กรัม

เมื่อทราบผลการทดสอบ จะนำไปวาดกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณแอสฟัลต์กับความหนาแน่น การไหล เสถียรภาพ เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศ และ เปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม สามารถพิจารณาความสัมพันธ์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศ(Air Voids)จะลดลง เมื่อปริมาณแอสฟัลต์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแอสฟัลต์ที่เพิ่มขึ้นนั้นเข้าไปแทรกอยู่ตามช่องว่างแทนที่อากาศ
2. ในตอนต้นความหนาแน่น (Density) เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความเหลวในแอสฟัลต์ทำให้อนุภาคต่างๆในส่วนผสมสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว จนถึงจุดที่ความหนาแน่นสูงสุด หลังจากนั้นความหนาแน่นจะเริ่มลดลงเนื่องจากแอสฟัลต์ที่เบากว่าได้เข้ามาแทรกมวลรวมในบางส่วนส่งผลให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคมีระยะที่ห่างออกไปจากกัน
3. การไหล (Flow)จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอสฟัลต์ที่เพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับความหนาแน่นปริมาณแอสฟัลต์มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคต่างๆจึงส่งผลให้แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคลดลง
4. เสถียรภาพ (Stability)เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับความหนาแน่นจึงมีลักษณะที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อถึงจุดหนึ่งเสถียรภาพจะเริ่มลดลง
5. เปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Void in Mineral Aggregate, VMA) จะลดลงจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะเพิ่มสูงขึ้น มีลักษณะตรงข้ามกับกราฟของความหนาแน่น



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง %แอสฟัลต์ซีเมนต์และคุณสมบัติต่างๆของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ที่มา :Civil Engineering Portal (2014)

ค่าเสถียรภาพที่วัดได้จากตัวอย่างทดสอบที่มีความสูงผิดไปจากค่ามาตรฐาน (63.5 มิลลิเมตร หรือ 2 ½ นิ้ว) ต้องนำไปแปลงเป็นค่าเทียบเท่าค่ามาตรฐานนั้น โดยการใช้อัตราส่วนเทียบค่า (Correlation ratio) ปรับแก้ค่าเสถียรภาพที่ได้จากกราฟ ดังที่แสดงในตารางที่ 2.2ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าการหาอัตราส่วนเทียบค่าสามารถใช้ค่าความสูงหรือปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่วัดได้

ตารางที่ 2.2 ใช้ปรับแก้ค่าเสถียรภาพ (Stability) ที่เทียบเท่ากับความสูงมาตรฐาน

ปริมาตรของก้อนตัวอย่าง(ซ.ม. ³)	ความหนาของก้อนตัวอย่างที่เหมาะสม(ม.ม.)	อัตราส่วนเทียบค่า(Correlation)
200-213	25.4	5.56
214-225	27.0	5.00
226-237	28.6	4.55
238-250	30.2	4.17
251-264	31.8	3.85
265-276	33.3	3.57
277-289	34.9	3.33
290-301	36.5	3.03
302-316	38.1	2.78
317-328	37.9	2.5
329-340	41.3	2.27
341-353	42.9	2.08
354-367	44.4	1.92
368-379	46	1.79
380-392	47.6	1.67
393-405	49.2	1.56
406-420	50.8	1.47
421-431	52.4	1.39
432-443	54.0	1.32
444-456	55.6	1.25
457-470	57.2	1.19
471-482	58.7	1.14
483-495	60.3	1.09
496-508	61.9	1.04
509-522	63.5	1.00
523-535	65.1	0.96
536-576	66.7	0.93
547-559	68.3	0.89
560-573	69.8	0.86
574-585	71.4	0.83
586-598	73.0	0.81
599-610	74.6	0.78
611-625	76.2	0.76

ที่มา : ทล.ท 604/2517,กรมทางหลวง (2517)

2.4 เทคโนโลยีการผสมอุ่น

John D'Angelo และคณะ, 2008 ได้กล่าวไว้ว่า Warm Mix Asphalt (WMA) หรือเทคโนโลยีการผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแบบอุ่น ทำให้ได้โดยลดอุณหภูมิในการผสมและก่อสร้างผิวทางลง 20-55 องศาเซลเซียส ทำให้มีอุณหภูมิผสมอยู่ในช่วง 110 ถึง 140 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับวิธีการผสมร้อน (Hot Mix Asphalt, HMA) ซึ่งมีอุณหภูมิผสมอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 140 ถึง 180 องศาเซลเซียส

วัตถุประสงค์ของเทคโนโลยีการผสมอุ่นคือต้องการลดความหนืดของแอสฟัลต์เพื่อให้แอสฟัลต์สามารถเคลือบมวลรวมหรือหินได้อย่างมีประสิทธิภาพขณะที่อุณหภูมิลดต่ำลง ขั้นตอนต่างๆ ในเทคโนโลยีการผสมอุ่น (WMA) นั้นเหมือนกับเทคโนโลยีการผสมร้อน (HMA) แต่แตกต่างกันที่เทคโนโลยีการผสมอุ่น (WMA) สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการบดอัดได้ดีขึ้นหรือเป็นการทำให้ความหนาแน่นของวัสดุหน้างานอัดแน่นดีขึ้น อีกทั้งยังเป็นการลดการเสื่อมสภาพของแอสฟัลต์เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการผลิตต่ำได้อีกด้วย จึงสามารถกล่าวถึงข้อดีหลักๆ ที่สำคัญของเทคโนโลยีผสมอุ่น 3 ด้านด้วยกัน ดังนี้

1. ประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากกระบวนการ WMA สามารถที่จะลดอุณหภูมิในการให้ความร้อนกับวัสดุลงได้ 11-50% (Edward J. Sullivan และ Andrew Moss, 2014) และลดปริมาณการใช้แก๊สธรรมชาติลง 0.4 แกลลอนต่อตัน (หรือ 1.5 ลิตรต่อตัน) แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้สารผสมเพิ่มด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการใช้แก๊สธรรมชาติที่ลดลงเมื่อใช้สารผสมเพิ่มในกระบวนการผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแบบอุ่น

ประเภทของสารผสมเพิ่ม	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	ปริมาณการใช้แก๊สธรรมชาติที่ลดลง
สารผสมเพิ่มที่มีลักษณะโฟม	Advera®	1.0 แกลลอน/ตัน (50%)
สารผสมเพิ่มที่เป็นสารอินทรีย์	Sasobit®	0.7 แกลลอน/ตัน (35%)
สารผสมเพิ่มที่เป็นเคมี	Double-Barrel Green®	0.4 แกลลอน/ตัน (20%)

นอกเหนือจากการลดการให้อุณหภูมิกับวัสดุแล้ว เทคโนโลยีการผสมอุ่น (WMA) ยังลดการปลดปล่อยมลพิษขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศอีกด้วยเช่น ลดการปล่อย carbon dioxide (CO₂) ลง 20 ถึง 40 % ลดการปล่อย sulfure dioxide (SO₂) 20 ถึง 35 % carbon monoxide (CO) 10 ถึง 30 % และกลุ่ม nitrous oxides (NO_x) สามารถลดได้ถึง 60 ถึง 70 % (John D'Angelo และคณะ, 2008)

2. ประโยชน์ทางด้านกระบวนการก่อสร้าง

เนื่องจากกระบวนการเทคโนโลยีการผสมอุ่น (WMA) ต้องเติมสารผสมเพิ่มลงไป

กระบวนการผสม สารผสมเพิ่มนี้นอกจากจะทำหน้าที่เป็นตัวลดอุณหภูมิแล้วยังช่วยลดความหนืด (Viscosity) ของแอสฟัลต์ ซีเมนต์ช่วยให้ง่ายต่อขั้นตอนก่อนการก่อสร้าง และส่งผลให้ใช้พลังงานในการบดอัดน้อยลง

3. ประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในกระบวนการเทคโนโลยีการผสมอุ่น (WMA) สามารถลดการใช้ปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ ลงได้ 20-35% (สำหรับอุณหภูมิผสม (Mixing Temperature) ที่ลดลงในช่วง 15-30 องศาเซลเซียส) (D'Angelo และคณะ, 2008)

2.4.1 สารผสมเพิ่ม (Additives)

สารผสมเพิ่มที่ใช้ในเทคโนโลยีผสมอุ่น แบ่งออกได้เป็น 3กลุ่มตามลักษณะของสารผสมเพิ่ม ดังนี้

1. สารผสมเพิ่มที่มีลักษณะโฟม

มีลักษณะเป็นผงสีขาวคล้ายแป้ง ละเอียดย ทำหน้าที่ลดความหนืดและเพิ่มปริมาตรของยาง ด้วยกระบวนการทำให้เกิดโฟม โดยการพ่นในปริมาณเล็กน้อยเข้าไปในแอสฟัลต์ที่มีอุณหภูมิสูง ทำให้เป็นไอแล้วฉีดพ่นออกมา โดยสารผสมเพิ่มที่มีลักษณะโฟมมีหลายชนิดดังแสดงตารางที่

2.4

สารผสมเพิ่มชนิดนี้ที่นิยมนำมาใช้งานมีชื่อว่า Advera® แสดงดังรูปที่ 2.4 Advera® เป็นผงละเอียดสีขาว ได้มาจากการบวนการสังเคราะห์ซีโอไลต์(โซเดียมอลูมิเนียมซิลิเกต)สารสังเคราะห์ชนิดนี้มีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 18-21 % และมีน้ำเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างโมเลกุล เมื่อให้ความร้อนกับ Advera® ความร้อนจะทำให้โมเลกุลของน้ำภายในช่องว่างของโครงสร้างหลุดออกมาและกลายเป็นน้ำระเหยออกมาเป็นไอ เกิดเป็นเนื้อโฟม เนื่องจากการได้รับอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือด(เมื่อได้รับอุณหภูมิประมาณ 85-182 องศาเซลเซียส)ส่งผลให้ปริมาตรของแอสฟัลต์ซีเมนต์เพิ่มขึ้น และสามารถเคลือบผิวมวลรวมที่อุณหภูมิต่ำ ผู้ผลิตได้แนะนำปริมาณการใช้ที่ 0.25-0.3% โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 2.4ผลิตภัณฑ์ของสารผสมเพิ่มที่มีลักษณะโฟม

กระบวนการ วิธีWMA	ผลิตภัณฑ์	บริษัท	คำอธิบาย	ปริมาณการใช้	ช่วงอุณหภูมิที่ ลดลง (องศาเซลเซียส)
Water- containing	Aspha-min ®	Eurovia และMHI	Water-containing technology using zeolites	0.3% ของส่วนผสม แอสฟัลต์คอนกรีต	20-30
Water- containing	Advera ®	PQ corporation	Water-containing technology using zeolites	0.25% ของส่วนผสม แอสฟัลต์คอนกรีต	10-30
Water-based	Double Barrel Green	Astec	Water-based foaming process	2% water by mass of bitumen:anti-stripping agent	116-135
Water-based	Ultrafoam GX	Gencor industries	Water-based foaming process	1-2% water by mass of bitumen	ไม่ระบุ
Water-based	LT Asphalt	Nynas	Foam bitumen with hydrophilic additive	0.5-1% ของส่วนผสม แอสฟัลต์คอนกรีต	90
Water-based	WAM-Foam	Shall and Kolo- Veidekka	Soft binder coating followed by foam hard binder	2-5% water by mass of hard binder	100-120

ที่มา : Martins ZAUMANIS (2010)



รูปที่ 2.4ลักษณะของสารผสมเพิ่มชนิดโฟม(Advera®)

2. สารผสมเพิ่มที่เป็นสารอินทรีย์

สารผสมเพิ่มที่เป็นสารอินทรีย์ใช้เพื่อลดความหนืดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ มีหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 2.5 สำหรับชนิดที่เป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทยมีชื่อว่า Sasobit® หรือ Parafin wax ได้จากการสังเคราะห์ Fischer-Tropsch จากถ่านหินหรือแก๊สธรรมชาติ มีลักษณะเป็นของแข็ง เป็นเม็ดสีขาว มี 3 ขนาดคือ คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร, 3 มิลลิเมตร และ 1 มิลลิเมตร (John Shaw, 2007) มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส Berleo และคณะ, Kanitpong และคณะ, 2007 แนะนำปริมาณการเติม Sasobit ® ที่ 3% โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์

ตารางที่ 2.5 ผลผลิตภัณฑ์ของสารผสมเพิ่มที่เป็นสารอินทรีย์

กระบวนการวิธี WMA	ผลิตภัณฑ์	บริษัท	คำอธิบาย	ปริมาณการใช้	ช่วงอุณหภูมิที่ลดลง (องศาเซลเซียส)
Montan Wax	Asphaltan B	Romonta GmbH	Refined Montan wax with fatty acid amide for rolled asphalt	2.0-4.0% โดยมวลของแอสฟัลต์คอนกรีต	20-30
Fatty acid	Licomont BS	Clariant	Fatty acid amide	3.0% โดยมวลของแอสฟัลต์คอนกรีต	20-30
Amide wax	3E LT or Ecoflex	Colas	Proprietary	ไม่ระบุ	30-40
FT Wax	Sasobit	Sasol	Fischer-Tropsch	Approx 2.5% by weight of binder in Germany; 1.0-1.5% in the USA	20-30

ที่มา : Martins ZAUMANIS (2010)



รูปที่ 2.5 ลักษณะของสารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ (Sasobit ®)

3. สารผสมเพิ่มที่เป็นเคมี

สารผสมเพิ่มที่เป็นเคมีมีหลายชนิด แสดงดังตารางที่ 2.6 สารผสมเพิ่มชนิดนี้จะช่วยลดแรงเสียดทานที่ผิวหน้า ส่งผลให้สามารถลดอุณหภูมิในการผสม (Mixing Temperature) ลงได้ 20-30 °C สารผสมเพิ่มชนิดนี้ที่เป็นที่นิยมใช้คือ Evotherm®

ตารางที่ 2.6 ผลกระทบของสารผสมเพิ่มที่เป็นเคมี

กระบวนการวิธี WMA	ผลิตภัณฑ์	บริษัท	คำอธิบาย	ปริมาณการใช้	ช่วงอุณหภูมิที่ลดลง (องศาเซลเซียส)
Chemical	Evotherm® Technologies	Mead Westvaco	Chemical package, with or without water	0.5% of mass of bitumen emulsion, Emulsion contains 70% of bitumen	85-115
Chemical	Cecabase RT	CECA	Chemical package	0.2-0.4% by mixture weight	30
Chemical	Rediset	Akzo Nobel	Cationic surfactants and organic additive	ไม่ระบุ	30
Chemical	Revix	Mathy-Ergon	Surface-active agents, waxes, processing aids, polymers	ไม่ระบุ	15-25
Chemical	Iterlow T	Iter Chimica	Not specified	0.3-0.5% by mass of bitumen	120

ที่มา : Martins ZAUMANIS (2010)

2.5 ความเสียหายเนื่องจากความชื้นในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

ความชื้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายบนชั้นผิวทางแอสฟัลต์ เนื่องจากความชื้นจะเข้าไปแทรกอยู่ตามช่องว่างอากาศเมื่อผิวทางรับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจร ส่งผลให้น้ำที่อยู่ในช่องว่างอากาศนั้นเกิดสันตะเหือนและเป็นความดันภายในช่องว่าง เมื่อเวลาผ่านไปการเชื่อมประสานกันระหว่างแอสฟัลต์ ซีเมนต์ และมวลรวมจะเกิดการเสียหายเนื่องมาจากความดันภายในช่องว่างเรียกการชำรุดประเภทนี้ว่าการหลุดร่อน (Stripping)

2.5.1 การทดสอบความเสียหายเนื่องจากความชื้น

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาและประยุกต์การทดสอบมากมายในการประมาณค่า Moisture Susceptibility ที่เกิดขึ้นในวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อใช้หาคุณสมบัติในเชิงปริมาณ และเชิงกำลังของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตได้ แบ่งชนิดของการทดสอบการหลุดร่อนออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

การทดสอบแบบ Loose Mixture ซึ่งสามารถทดสอบได้จากหลายวิธีดังนี้ Methylene blue, Film stripping (California Test 302), Static immersion, Dynamic immersion, Chemical immersion, Surface reaction, Quick bottle , Boiling, Rolling bottle, Net adsorption, Surface energy, Pneumatic pull-off และการทดสอบแบบ Compacted Specimen ได้แก่วิธี Moisture vapor susceptibility, Immersion-compression, Marshal immersion, Freeze-thaw pedestal test, Original Lottman indirect tension, Modified Lottman indirect tension, Tunnichliff-Root, ECS with resilient modulus, Hamburg wheel tracking, Asphalt pavement analyzer, Multiple freeze-thaw

1.การทดสอบ Loose Mixture เป็นวิธีที่ดีที่สุดเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างมวลรวม ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เข้ากันได้ ความสามารถในการเชื่อมประสาน และการหลุ่ร่อน ซึ่งการทดสอบชนิดนี้มีหลายวิธีด้วยกัน แสดงดังตารางที่ 2.7

2.การทดสอบ Compacted Mixture เป็นการทดสอบที่สามารถกระทำได้ทั้งในห้องปฏิบัติการหรือนอกห้องปฏิบัติการก็ได้ เช่นวิธี indirect tensile freeze-thaw cyclic with modulus and strength measurement, Immersion-compression, Abrasion weight loss, และ sonic vibration tests. การทดสอบชนิดนี้กระทำได้ง่ายกว่าการทดสอบ Loose Mixture และใช้ระยะเวลาในการทดสอบยาวนานกว่าแสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 วิธีการทดสอบแบบ Loose Mixture

การทดสอบ	คำอธิบายและวิธีการทดสอบ
Methylene blue	เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศฝรั่งเศสและนิยมใช้อย่างแพร่หลายตามคำแนะนำของ the International Slurry Seal Association (ISSA) เพื่อจำแนกเศษฝุ่น สารเคมี และ iron hydroxide ที่ปะปนอยู่ในหินฝุ่น การทดสอบทำได้ละลาย Methylene blue, MB ในน้ำกลั่นและคนให้เข้ากัน ระหว่างคนทำการหยดสารละลาย Methylene blue 0.5 มิลลิลิตร จนกระดาษปรากฏสีฟ้าขึ้นรอบๆหยดของ MB
Film Stripping Test AASHTO T182 (Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixtures)	เป็นวิธีที่ทำได้โดยอบมวลรวมที่เคลือบด้วยแอสฟัลต์ที่มีน้ำหนักรวมกัน 60 กรัมในเตอบที่ควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 15 ถึง 18 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำตัวอย่างมาตั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปแช่ในภาชนะบรรจุน้ำที่บรรจุน้ำกลั่นประมาณ 175 มิลลิลิตร ปิดฝาภาชนะ จากนั้นนำเข้าเครื่องทดสอบที่หมุนด้วยความเร็ว 35rpm เป็นเวลา 15 นาที ตัวอย่างทดสอบกะหลุมไปตามเครื่องทดสอบทำให้ทราบเปอร์เซ็นต์การหลุ่ร่อน

ตารางที่ 2.7 วิธีการทดสอบแบบ Loose Mixture (ต่อ)

การทดสอบ	คำอธิบายและวิธีการทดสอบ
Static Immersion Test (AASHTO T182)	การทดสอบนี้ทำได้โดยการบ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตามอุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ในภาชนะบรรจุน้ำที่บรรจุน้ำกลั่นที่มีปริมาณ 600 ทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 ถึง 18 ชั่วโมง วิธีการนี้จะทำให้ทราบจำนวนการหลุดร่อนโดยประมาณ ซึ่ง visible area ไม่ควรมากกว่า 95%
Rolling Bottle Test	วิธีนี้พัฒนาขึ้นโดย Isacson และ Jorgensen of Sweden (1987) เพื่อวัดการหลุดร่อนของแอสฟัลต์ที่เคลือบผิวมวลรวมทำได้โดยนำตัวอย่างที่ใส่ในภาชนะที่สามารถหมุนหรือกลิ้งได้ แล้วทำการหมุนหรือกลิ้ง เป็นระยะเวลาหนึ่งข้อดีของวิธีนี้คือทดสอบง่ายและใช้ระยะเวลาทดสอบเพียง 10 นาที ข้อเสียคือกรดบางชนิดที่ใช้ประกอบ การทดสอบอาจทำให้เกิดอันตรายขึ้นได้
Surface Reaction Test	วิธีการทดสอบนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Ford et al. (1974) ทำได้โดยการใส่ตัวอย่าง calcareous หรือ siliceous minerals และ กรดชนิดหนึ่งในภาชนะที่ปิดฝา ตัวอย่าง ในภาชนะจะเกิดปฏิกิริยาเคมี ส่งผลให้เกิดแก๊สออกมาทำให้ทราบสัดส่วนผิวหน้าของตัวอย่างที่หลุดร่อนออกมาได้
Dynamic Immersion Test	วิธีนี้ใช้เพื่อเร่งการเกิดการหลุดร่อนเพื่อเปรียบเทียบกับวิธี static immersion test แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้นัก
Chemical Immersion Test	วิธีนี้เป็นวิธีทดสอบเพื่อพิจารณาการเชื่อมประสานระหว่างมวลรวมและแอสฟัลต์ด้วยการแช่ในน้ำกลั่นที่ผสมเกลือโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) วัดระดับในช่วง 0-9 โดยที่ 0 คือตัวเลขที่แทนด้วยน้ำกลั่นที่ไม่มีการเติม โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3), 1 คือน้ำกลั่นที่มีส่วนผสมของโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.41 กรัมในน้ำ 1 ลิตร ไปจนถึงเลข 9 คือตัวเลขที่ป็นตัวแทนของน้ำกลั่นที่มีสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) สูงสุด การทดสอบทำได้โดยให้ความร้อนกับตัวอย่างทดสอบที่มีน้ำหนัก 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสแล้วปล่อยให้

ตารางที่ 2.7 วิธีการทดสอบแบบ Loose Mixture (ต่อ)

การทดสอบ	คำอธิบายและวิธีการทดสอบ
	<p>เย็นที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำการ ละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ในน้ำกลั่นปริมาณ 50 มิลลิลิตรที่ได้จากการต้มในบีกเกอร์ปริมาณ 200 มิลลิลิตร แล้ว นำตัวอย่างประมาณ 10 กรัมใส่ในน้ำที่เพิ่งผ่านการต้มเป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้น วางตัวอย่างบนกระดาษกรองเมื่อตัวอย่างแห้งจะเกิดการหลุดร่อน ปริมาณของการหลุดร่อน ที่เกิดขึ้น จะถูกจำแนกเป็นตัวเลข หากตัวอย่างไม่เกิดการหลุดร่อนเลยให้ทำการทดสอบใหม่เริ่มต้นการทดสอบที่สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เจือจางก่อนแล้วค่อยๆเพิ่มความเข้มข้นขึ้น</p>
Texas Boiling Test	<p>วิธีการทดสอบนี้พัฒนาโดย Kennedy et al.(1982) ทำการทดสอบ โดยนำตัวอย่างมาใส่ในน้ำต้มแล้วนำตัวอย่างไปต้มประมาณ 10 นาที แล้วปล่อยให้เย็นแล้วเทน้ำออกจากภาชนะวางตัวอย่างบนผ้ารองจนตัวอย่างแห้ง ทำให้ทราบถึงปริมาณการหลุดร่อนที่เกิดจากการถูกความร้อนจากการต้ม</p>
Net Adsorption Test	<p>วิธีนี้พัฒนาขึ้นโดย SHRP ช่วงต้นปี ค.ศ. 1009 และเผยแพร่ใน SHRP Report A-341(Curtis et al. 1993)การทดสอบจะพิจารณาถึงความเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์ มีขั้นตอนในการทดสอบ 2 ขั้นตอนคือแช่ตัวอย่างในสารละลายทูลูอิน (toluene solution) วัดปริมาณแอสฟัลต์ที่คงเหลือและปริมาณแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมโดยมวลรวม ต่อมาวัดปริมาณแอสฟัลต์ที่หลุดออกจากผิวมวลรวม แล้วพิจารณาแอสฟัลต์ที่ยังเคลือบผิวมวลรวมอยู่นั้นคือ การดูดซึมสุทธิ</p>
Wilhelmy Plate Test and Universal Sorption Device for Surface Free Energy	<p>วิธีนี้สามารถทำได้โดยใช้ Wilhelmy plate test วัดการสัมผัสระหว่างแอสฟัลต์และสารละลาย solvent จากdynamic contact และวัดปริมาณมวลรวมที่ไม่มีพลังงานจาก universal sorptionที่พัฒนาขึ้น โดย Texas A&M University</p>

ตารางที่ 2.8 วิธีการทดสอบแบบ Compacted Mixture

การทดสอบ	คำอธิบายและวิธีการทดสอบ
Immersion–Compression Test ASTM D1075 (1949 and 1954) และ AASHTO T165-55 (Effect of Water on Compressive Strength of Compacted Bituminous Mixtures)	การทดสอบนี้ทำได้โดยการ แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กลุ่มคือ การแช่ก้อนตัวอย่างในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 วัน อีกกลุ่มหนึ่งเป็นการทดสอบแห้ง และอีกหนึ่งวิธีที่สามารถทำได้คือการแช่ก้อนตัวอย่างที่ประมาณ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการ กดก้อนตัวอย่างทั้งสองกลุ่มที่อุณหภูมิประมาณ 35 องศาเซลเซียส วัฏระยะการยุบตัว 0.05 นิ้ว/นาที่ ต่อความสูง(นิ้ว) กำหนดให้ก้อนตัวอย่างสูง 4 นิ้ว ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นสัดส่วนกันของก้อนตัวอย่างแห้งต่อก้อนตัวอย่างเปียกโดยมากมักได้ค่าจากการทดสอบประมาณ 70%
Original Lottman Indirect Tension Test	วิธีการทดสอบนี้พัฒนาโดย Lottman at the University of Idaho ในช่วงตอนต้นปี.ศ. 1970 (Lottman 1978) ทดสอบโดย แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม กำหนดให้ ก้อนตัวอย่างหนา ประมาณ 2.5 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ทำการดูดอากาศออกจากก้อนตัวอย่างเป็นเวลา 30 นาที ก้อนตัวอย่าง อีกกลุ่มหนึ่งจะถูกนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ 0 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 ชั่วโมงหลังจากแช่อยู่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทดสอบ Freeze-Thaw โดย Lottman ได้ทำอีกกลุ่มตัวอย่างหนึ่ง (เพื่อเป็นทางเลือก) โดยการ จำลองสถานการณ์ให้เป็นวงจรถือแช่ตัวอย่างที่ 0 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วเปลี่ยนอุณหภูมิให้ก้อนตัวอย่างเป็น 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างไปควบคุมอุณหภูมิที่ 0 องศาเซลเซียสอีกครั้ง ดังนั้นการทดสอบแต่ละครั้ง จะใช้เวลา 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการกดทดสอบที่อัตรา 0.065 นิ้ว/นาที่ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หรือ 0.150 นิ้ว/นาที่ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสทดสอบ โดยการเทียบอัตราส่วนก้อนตัวอย่างเปียกต่อก้อนตัวอย่างแห้ง
AASHTO T283(Modified Lottman Indirect Tension Test Procedure)มาตรฐาน AASHTO T283,	เป็นอีกหนึ่งวิธีนิยมใช้สำหรับการ ความไวต่อความชื้น ในการผสมร้อน การทดสอบมีความคล้ายกับการทดสอบ Lottman ทำได้โดยแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม และดูดอากาศออกจากก้อนตัวอย่างกระทำต่อเนื่องไปจนถึงระดับความ

ตารางที่ 2.8 วิธีการทดสอบแบบ Compacted Mixture (ต่อ)

การทดสอบ	คำอธิบายและวิธีการทดสอบ
<p>“Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage”</p>	<p>อิมดัวด้วยน้ำที่ระดับร้อยละ 55 ถึง 80 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบด้วยวิธี Lottman การทดสอบควบคุมอุณหภูมิ 60 องศา เป็นเวลา 16 ชั่วโมง หรือทำการควบคุมอุณหภูมิ ที่ 135 องศา เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตัวอย่างทดสอบใช้อย่างน้อย 6 ตัวอย่างทำการเตรียมและบดอัดตัวอย่าง ตัวอย่างที่ถูกบดอัดจะต้องมีปริมาณช่องว่างระหว่างร้อยละ 6.5 ถึง 7.5 อีกกลุ่มหนึ่งจะถูกนำแช่แข็ง ในชั้นตอนแรกทำการดูอากาศให้ก๊อณ ตัวอย่างอิมดัวด้วยน้ำที่ระดับร้อยละ 55 ถึง 80 แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิที่ - 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการทดสอบ indirect tensile strength ทั้งสองสภาวะ</p>
<p>Texas Freeze-Thaw Pedestal Test</p>	<p>วิธีนี้ถูกเสนอโดย Kennedy et al. (1982) ที่ดัดแปลงมาจาก water susceptibility test ที่ถูกเสนอโดย Plancher et al. (1980) at the Western Research Institute</p> <p>การทดสอบ นี้ถูกออกแบบให้มีผล การทดสอบ จากคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ โดยการใช้มวลรวมขนาดเดียวที่สามารถลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 20 (0.85 มิลลิเมตร) และค้ำตะแกรงเบอร์ 35 (0.5 มิลลิเมตร) และให้ความร้อนกับแอสฟัลต์ที่อุณหภูมิ ประมาณ 150 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปควบคุมอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการ คนทุก 1 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมงนำแอสฟัลต์ออกจากเตาอบและตั้งไว้ที่ อุณหภูมิห้องหลังจากนั้นนำ ตัวอย่าง ไปให้ความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียสอีกครั้ง บดอัดก้อนตัวอย่าง โดยให้น้ำหนักบดอัด 28 kN เป็นเวลา 15 นาที ให้มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 41 มิลลิเมตร สูง 19 มิลลิเมตร ปล่อยให้ก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน เมื่อตามเวลาที่กำหนดนำก้อนตัวอย่างใส่ใน ภาชนะที่สามารถบรรจุน้ำกลั่นได้ ปิดฝาแล้วควบคุมอุณหภูมิที่ ประมาณ -5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ความเหนียวนำ ความชื้นในก้อนตัวอย่างจะเกิดการวิบัติเนื่องจากการเชื่อมประสานระหว่างแอสฟัลต์และมวลรวม</p>

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

Graham C. Hurley และ Brian D. Prowell (2005) ศึกษาความไวต่อความชื้นในวัสดุและชนิดแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่แตกต่างกัน พบว่า ค่า TSR จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นผลมาจาก ชนิดของวัสดุ และชนิดของยางที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากสารผสมเพิ่มที่ผสมในยาง แต่ผล TSR ที่ดีที่สุดคือ วัสดุชนิดLimestone ที่ผสมกับแอสฟัลต์ PG 64-22 ที่มีการผสมสารผสมเพิ่ม Sasobit ®

Kvasnak, Andrea N และ West Randy C (2009) ได้ทำการเปรียบเทียบความไวต่อความชื้นในวิธีการผสมอุ่น (WMA) เทียบกับวิธีการผสมร้อน (HMA) พบว่า วิธีการผสมร้อน (HMA) ให้ค่าการต้านทานความชื้นดีกว่า แต่อย่างไรก็ตาม พบการทดสอบ WMA ส่วนใหญ่เกินกว่าค่ากำหนด

ณัฐภรณ์ และ กัณวีร์ (2010) ได้ทำการศึกษาสำรวจความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นด้วยการทดสอบความคืบแบบกระทำซ้ำพบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นมีความไวต่อความเสียหายเนื่องจากความชื้นมากกว่า มากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อน

Colbertและคณะ (2011) ศึกษาค่า Tensile Strength Ratio (TSR) ในทั้งสภาวะเปียกและแห้ง ด้วยการแช่ก่อนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำมาทดสอบ พบว่า ค่า TSRของก้อนตัวอย่างที่มีRAPเท่ากับร้อยละ 35และ50 มีค่ามากกว่า ก้อนตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสมของRAP(0%)

Shuและคณะ (2012) ได้ทำการศึกษาความไวต่อความชื้นในวัสดุที่มีผิวทางเก่าผสม (RAP)กับมวลรวมใหม่ด้วยวิธีการผสมร้อน และวิธีการผสมอุ่น โดยใช้สารผสมเพิ่มประเภทโพลีเป็นตัวลดอุณหภูมิ พบว่าความไวต่อความชื้นจากการทดสอบด้วยวิธี Superpave IDTและ the dynamic modulusมีค่าเท่ากันทั้งสองวิธีการผสมชนิดเดียวกัน Kim, Zhang และBan, 2012 ทำการศึกษาความไวต่อความชื้นของตัวอย่างที่ใช้วิธีการผสมร้อน และวิธีการผสมอุ่น พบว่าตัวอย่างที่ใช้วิธีการผสมอุ่นให้ค่าความไวต่อความชื้นสูงกว่าวิธีการผสมร้อน

Yong-Rak Kim และคณะ (2012) ศึกษาตัวอย่างที่ได้จากการผสมร้อนและผสมอุ่นพบว่าตัวอย่างที่ใช้วิธีการผสมอุ่นให้ค่าความไวต่อความชื้นสูงกว่าวิธีการผสมร้อน

Zhaoและคณะ (2013)ทำการเปรียบเทียบระหว่างความต้านทานการเกิดร่องล้อ , ความต้านทานความล้าและความไวต่อความชื้นจากความแตกต่างกันของแหล่งวัสดุทดสอบ โดยในขั้นตอนการผสมได้มีการประยุกต์ใช้วัสดุผิวทางเก่า (RAP)ที่อัตราส่วน 0-40%และใช้วิธีการผสมแบบอุ่นที่เกิดจากการเติมสารผสมเพิ่มชนิดโพลี และสารผสมเพิ่มชนิดที่สารเคมี พบว่าตัวอย่างที่ได้จากการผสมอุ่นที่มีวัสดุผิวทางเก่าในปริมาณสูง (WMA-High-RAP)เป็นส่วนผสมด้วยมีความต้านทานการเกิดร่องล้อและเกิดความต้านทานความชื้นน้อยกว่าตัวอย่างที่ได้จากการผสมร้อนและมี

วัสดุผิวทางเก่าในปริมาณสูง (HMA-High-RAP)เป็นส่วนผสม แต่มีคุณสมบัติดังกล่าวดีกว่าตัวอย่างที่ได้จากการผสมอ่อนและมีวัสดุผิวทางเก่าในปริมาณน้อย (WMA-Low-RAP)

Ali และคณะ (2013) ได้ทำการทดสอบตัวอย่างที่ได้จากการใช้วิธีการผสมอ่อนจากการเติมสารผสมเพิ่มที่เป็นโพลีเมอร์เป็นวิธีผสม ดำเนินการทดสอบโดยใช้แอสฟัลต์ที่ต่างกันคือ PG 70-22 และ PG 64-28 ทดสอบจากมวลรวมที่ต่างชนิดกันคือหินปูนและหินคลุก และใช้มวลรวมที่มีขนาดต่างกันคือขนาด 12.5 มิลลิเมตรและ 19.0 มิลลิเมตร โดยสารผสมเพิ่มที่ผสมลงไปนั้นได้ทำการลดอุณหภูมิลงจากวิธีการผสมร้อนลงไปได้ 16.7, 27.8, และ 38.9 องศาเซลเซียสตามลำดับ และใช้ปริมาณสารผสมเพิ่มที่ใช้ในการผสมที่ต่างกันคือ 1.8%, 2.2%, และ 2.6% ของน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ นอกจากนี้ยังควบคุมความชื้นของมวลรวมเพื่อนำมาทดสอบให้มีค่าแตกต่างกันคือ 0%, 1.5%, และ 3% ผลการทดสอบได้จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากวิธีการผสมที่แตกต่างกันพบว่าตัวอย่างที่ใช้ปริมาณสารผสมเพิ่มและอุณหภูมิที่ทดสอบที่ลดลงน้อยที่สุด (ลดลง 16.7 องศาเซลเซียส) และใช้ปริมาณสารผสมเพิ่มเพียง 1.8% โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ (เป็นการเติมสารผสมเพิ่มในปริมาณน้อยที่สุด) และใช้มวลรวมที่ถูกอบจนไม่มีความชื้นอยู่เลย พบว่าตัวอย่างนี้มีความไวต่อการเกิดร่องล้อ และเหนียวน่าให้เกิดความชื้นได้ แต่หากเพิ่มปริมาณสารผสมเพิ่มเป็น 2.6% จะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติข้างต้น

Guo และคณะ (2014) ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่าง WMA ผสมวัสดุผิวทางเก่า (RAP) อัตราส่วน 0-40% เติมสารผสมเพิ่มชนิด Evotherm - DAT และ S - I ปริมาณข้างเท่ากับร้อยละ 3.5, 4, 4.5, 5 และ 5.5 ผลการทดสอบพบว่าปริมาณข้างที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 4.5 และทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ จากวิธี Freeze-thaw splitting เป็นการทดสอบความไวต่อความชื้น โดยออกแบบก่อนตัวอย่าง แล้วทำการบดอัด 50 ครั้ง ให้ความชื้นกับก้อนตัวอย่างด้วยการอัดอากาศที่ความดันไม่ต่ำกว่า 730 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาแช่ในน้ำเป็นเวลา 30 นาที ที่ความดันอากาศปกติ แล้วนำตัวอย่างไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาค่า Tensile strength ratio (TSR) ของก้อนตัวอย่างที่เติมสารผสมเพิ่ม Evotherm® มีค่ามากกว่าก้อนตัวอย่างที่เติมสารผสมเพิ่ม S-I แสดงให้เห็นว่าก้อนตัวอย่างที่เติมสารผสมเพิ่ม Evotherm® มีความต้านทานความไวต่อความชื้นได้ดีกว่า ที่สัดส่วนวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ที่เท่ากัน

Feipeng Xiao และคณะ (2014) ทำการศึกษา ความไวต่อความชื้น โดยใช้ แอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด PG 64-22, สารผสมเพิ่ม 2 ชนิด, antistripping agents (ASA) 3 ชนิด และมวลรวมจาก 3 แหล่ง รวมเป็น 36 สูตรส่วนผสม รวมเป็น 216 ตัวอย่าง ทำการทดสอบ indirect tensile strength

(ITS), tensile strength ratio (TSR), การไหล, และ toughness. ได้ผลการทดสอบว่าเมื่อผสม ASA ชนิด hydrate lime ในวิธีผสมอุ่น ให้ค่าต้านทานความชื้นดีที่สุด , ASA ชนิดเหลวสามารถทำให้ค่า ITS เพิ่มขึ้นได้แต่ความต้านทานความชื้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชนิด hydrate lime นอกจากนี้พบว่าค่า ITS ในสภาวะเปียกของตัวอย่างวิธี WMA ที่มี ASA ให้ค่าน้อยกว่าวิธี WMA ที่ไม่มี ASA

Ashley Buss และคณะ (2015) ทำการศึกษาและทดสอบอิทธิพลต่อการเกิดความเสียหายจากความชื้น โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านทานความไวต่อความชื้นระหว่างการผสมร้อน (HMA) และผสมอุ่นชนิด (WMA) โดยเติมสารผสมเพิ่มชนิดเคมี แล้วทำการเปรียบเทียบ indirect tensile strength พบว่าแนวโน้มค่า TSR ในการผสมร้อนมากกว่าในการผสมอุ่น แต่ทุกตัวอย่างนั้นมีค่ามากกว่า 0.8

นอกจากนี้ยังทดสอบ Marshall Immersion (MS_0) เป็นการทดสอบโดยแช่ก้อนตัวอย่างที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ผลทดสอบมีแนวโน้มไปในทิศทางเช่นเดียวกับกับวิธี Freeze-thaw splitting ว่าก้อนตัวอย่างที่ไม่มีการผสมวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ที่เติมสารผสมเพิ่ม Evotherm® มีค่า MS_0 มากกว่าตัวอย่างที่เติมสารผสมเพิ่ม S-I ในขณะที่เดียวกันตัวอย่างที่มีการผสมวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ที่เติมสารผสมเพิ่ม Evotherm® มีค่า MS_0 ที่มากกว่าตัวอย่างที่เติมสารผสมเพิ่ม S-I

จากงานวิจัยทั้ง 11 งานวิจัยที่กล่าวในข้างต้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

ผู้ศึกษา	วิธีการผสม	ปริมาณวัสดุผิว ทางเก่า	วิธีการทดสอบ	ผลการทดสอบ
Graham C. Hurley และ Brian D. Prowell (2005)	HMA WMA	N/A	N/A	พบว่า ค่า TSR จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นผลมาจาก ชนิดของวัสดุและชนิดของยางที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากสารผสมเพิ่มที่ผสมในยาง แต่ผล TSR ที่ดีที่สุดคือ วัสดุชนิด Limestone ที่ผสมกับแอสฟัลต์ PG 64-22 ที่มีการผสมสารผสมเพิ่ม Sasobit ®
Kvasnak, Andrea N และ West Randy C (2009)	HMA WMA	N/A	N/A	พบว่า HMA ให้ค่าการต้านทานความชื้นดีกว่า แต่อย่างไรก็ตาม พบการทดสอบ WMA ส่วนใหญ่เกินกว่าค่ากำหนด
ณัฐภรณ์ และกันวีร์ (2010)	HMA WMA	None	เครื่องทดสอบความเค้น ด้วยการให้แรงกระทำซ้ำ	แอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นมีความไวต่อความเสียหายเนื่องจากความชื้นมากกว่า มากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อน
Colbertและคณะ (2011)	N/A	0% 35% 50%	APA, dynamic modulus, modified Lottman	ค่าTSRของก้อนตัวอย่างที่มีRAPเท่ากับร้อยละ35และ50 ซึ่งมีค่ามากกว่า ก้อนตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP) อยู่เลย
Shulและคณะ (2012)	HMA WMA	N/A	Superpave IDT, the dynamic modulus	ความไวต่อความชื้นจากการทดสอบด้วยวิธี Superpave IDT และthe dynamic modulusมี ค่าเท่ากันทั้งสองวิธีการผสม ขณะเดียวกัน
Yong-Rak Kim และคณะ (2012)	HMA WMA	None	N/A	ตัวอย่างที่ใช้วิธีการผสมอุ่นให้ค่าความไวต่อความชื้นสูงกว่าวิธีการผสมร้อน
Zhao และคณะ (2013)	HMA WMA	0-40%	Superpave indirect tension (IDT)	ทำการเปรียบเทียบระหว่างความต้านทานการเกิดร่องล้อ , ความต้านทานความล้าและความ ไวต่อความชื้นจากความแตกต่างกันของแหล่งวัสดุทดสอบ โดยในขั้นตอนการผสมได้มีการ ประยุกต์ใช้วัสดุผิวทางเก่า(RAP)ที่อัตราส่วน0-40%และใช้วิธีการผสมแบบอุ่นที่เกิดจาก การเติมสารผสมเพิ่มชนิดโพลี และสารผสมเพิ่มชนิดที่สารเคมี พบว่าตัวอย่างที่ได้จากการ ผสมอุ่นที่มีวัสดุผิวทางเก่าในปริมาณสูง(WMA-High-RAP)เป็นส่วนผสมด้วยมีความ ต้านทานการเกิดร่องล้อและเกิดความต้านทานความชื้นน้อยกว่าตัวอย่างที่ได้จากการผสม ร้อนและมีวัสดุผิวทางเก่าในปริมาณสูง(HMA-High-RAP)เป็นส่วนผสม แต่มีคุณสมบัติ

ตารางที่ 2.9งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต(ต่อ)

ผู้ศึกษา	วิธีการผสม	ปริมาณวัสดุผิว ทางเก่า	วิธีการทดสอบ	ผลการทดสอบ
				ทำดังกล่าวดีกว่าตัวอย่างที่ได้จากการผสมอุ่นและมีวัสดุผิวทางเก่าในปริมาณน้อย(WMA-Low-RAP)
Ali และคณะ (2013)	WMA	N/A	Modified Lottman (AASHTO T 283)	ได้ทำการทดสอบตัวอย่างที่ได้จากการใช้วิธีการผสมอุ่นจากการเติมสารผสมเพิ่มที่เป็นโฟมเป็นวิธีผสม ดำเนินการทดสอบโดยใช้แอสฟัลต์ที่ต่างกันคือPG 70-22และPG 64-28ทดสอบจากมวลรวมที่ต่างชนิดกันคือหินปูนและหินคลุก และใช้มวลรวมที่มีขนาดต่างกันคือขนาด 12.5มิลลิเมตรและ19.0มิลลิเมตร โดยสารผสมเพิ่มที่ผสมลงไปนั้นได้ทำการลดอุณหภูมิลงจากวิธีการผสมร้อนลงไปได้ 16.7, 27.8, และ38.9องศาเซลเซียสตามลำดับ และใช้ปริมาณสารผสมเพิ่มที่ใช้ในการผสมที่ต่างกันคือ 1.8%, 2.2%,และ2.6%ของน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์นอกจากนี้ยังควบคุมความชื้นของมวลรวมเพื่อนำมาทดสอบให้มีความแตกต่างกันคือ 0%, 1.5%,และ3%ผลการทดสอบได้จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากวิธีการผสมที่แตกต่างกันพบว่าตัวอย่างที่ใช้ปริมาณสารผสมเพิ่มและอุณหภูมิที่ทดสอบที่ลดลงน้อยที่สุด (ลดลง 16.7องศาเซลเซียส) และใช้ปริมาณสารผสมเพิ่มเพียง 1.8% โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์(เป็นการเติมสารผสมเพิ่มในปริมาณน้อยที่สุด) และใช้มวลรวมที่ถูกอบจนไม่มีความชื้นอยู่เลย พบว่าตัวอย่างนี้มีความไวต่อการเกิดร่องล้อ และเหนียวน้ำให้เกิดความชื้นได้ แต่หากเพิ่มปริมาณสารผสมเพิ่มเป็น 2.6% จะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติข้างต้น

ผู้ศึกษา	วิธีการผสม	ปริมาณวัสดุผิว ทางเก่า	วิธีการทดสอบ	ผลการทดสอบ
----------	------------	---------------------------	--------------	------------

Guo และคณะ (2014)	WMA	0-40%	Freeze-thaw splitting	ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่าง WMA ผสมวัสดุผิวทางเก่า (RAP) อัตราส่วน 0-40% เติมน้ำมันเพิ่มชนิด Evotherm-DAT และ S-I ปริมาณยางเท่ากับร้อยละ 3.5, 4, 4.5, 5 และ 5.5 ผลการทดสอบพบว่าปริมาณยางที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 4.5 คุณสมบัติต่างๆ ทดสอบความไวต่อความชื้น โดยออกแบบก้อนตัวอย่าง แล้วทำการบดอัด 50 ครั้ง ให้ความชื้นกับก้อนตัวอย่างด้วยการอัดอากาศที่ความดันไม่ต่ำกว่า 730 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาแช่น้ำเป็นเวลา 30 นาที ที่ความดันอากาศปกติ แล้วนำตัวอย่างไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อพิจารณา Tensile strength ratio (TSR) ของก้อนตัวอย่างที่เติมน้ำมันเพิ่ม Evotherm® มีค่ามากกว่าก้อนตัวอย่างที่เติมน้ำมันเพิ่ม S-I แสดงให้เห็นว่าก้อนตัวอย่างที่เติมน้ำมัน S-I แสดงให้เห็นว่าก้อนตัวอย่างที่เติมน้ำมันเพิ่ม Evotherm® มีความต้านทานความไวต่อความชื้นได้ดีกว่า ที่สัดส่วนวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ที่เท่ากัน
Feipeng Xiao และคณะ (2014)	HMA WMA	N/A	Indirect tensile strength (ITS), tensile strength ratio (TSR), การไหล, และ toughness.	ทำการศึกษาความไวต่อความชื้น โดยใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด PG 64-22, สารผสมเพิ่ม 2 ชนิด, antistripping agents (ASA) 3 ชนิด และมวลรวมจาก 3 แหล่ง รวมเป็น 36 สูตร ส่วนผสม รวมเป็น 216 ตัวอย่าง ทำการทดสอบ indirect tensile strength (ITS), tensile strength ratio (TSR), การไหล, และ toughness. ได้ผลลัพธ์คือสำหรับวิธีผสมอุ่น ASA ชนิด hydrate lime ให้ค่าต้านทานความชื้นดีที่สุด, ASA ชนิดเหลวสามารถทำให้ค่า ITS เพิ่มขึ้นได้แต่ความต้านทานความชื้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชนิด hydrate lime นอกจากนี้พบว่าค่า ITS ในสภาวะเปียกของตัวอย่างวิธี WMA ที่มี ASA ให้ค่าน้อยกว่าวิธี WMA ที่ไม่มี ASA

ตารางที่ 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต(ต่อ)

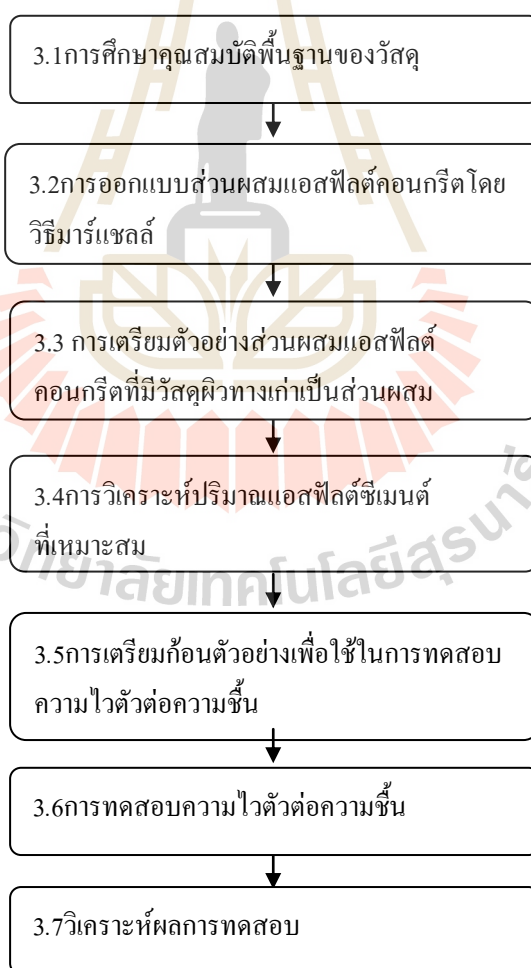
ตารางที่ 2.9งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต(ต่อ)

ผู้ศึกษา	วิธีการผสม	ปริมาณวัสดุผิว ทางเก่า	วิธีการทดสอบ	ผลการทดสอบ
Ashley Bussและคณะ (2015)	HMA WMA	N/A	indirect tensile strength	ทำการศึกษาและทดสอบอิทธิพลต่อการเกิดความเสียหายจากความชื้น โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านทานความไวต่อความชื้นระหว่างการผสมร้อนและผสมอุ่นชนิดเคมี ทำการเปรียบเทียบIndirect tensile strength พบว่าแนวโน้มค่าTSR ในการผสมร้อนมากกว่าในการผสมอุ่น แต่ทุกตัวอย่างนั้นมีค่ามากกว่า0.8

บทที่ 3

การดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างวัสดุผิวทางเก่า (RAP) และวัสดุมวลรวมใหม่ สำหรับชั้นทาง Binder Course ขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว หรือ 19 มิลลิเมตร หรือตามมาตรฐานชั้นทางที่ ทล.-ม.408/2532 เพื่อศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในการใช้วิธีการผสมอุ่น เปรียบเทียบกับวิธีการผสมร้อนที่อุณหภูมิผสมต่างๆ สามารถสรุปขั้นตอนการ ดำเนินการศึกษาดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

3.1 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

3.1.1 คุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์

ในการศึกษานี้ได้ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด 60/70 โดยได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐาน ตามมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

- Penetration 25□ ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D5
- Flash Point ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D92
- Softening Point ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D36
- Ductility ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D113
- Solubility in Trichloroethylene ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D2042
- Specific Gravity ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D70

โดยผลการทดสอบแสดง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด 60/70

คุณสมบัติ	มาตรฐาน ที่ใช้อ้างอิง	ขอบเขตการทดสอบ		ผลการ ทดสอบ
		ต่ำสุด	สูงสุด	
Penetration @25 °C, 100 กรัม, 5 วินาที	ASTM D5	60	70	67
Flash Point (°C)	ASTM D92	232	-	334
Softening Point (C)	ASTM D36	45	55	47.2
Ductility @25°C (cm)	ASTM D113	100	-	>150
Solubility in Trichloroethylene (%wt)	ASTM D2042	99	-	99.97
Specific Gravity @25°C	ASTM D70	-	-	1.034

3.1.2 การศึกษาคุณสมบัติของสารผสมเพิ่ม

ในการศึกษานี้ได้ใช้เทคโนโลยีผสมอ่อน โดยการเติมสารผสมเพิ่ม ซึ่งได้แก่ สารผสมเพิ่มที่เป็นอินทรีย์และสารผสมเพิ่มที่เป็นลักษณะโพลีเมอร์ ซึ่งได้แก่

- สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ Sasobit® ได้จากการสังเคราะห์ Fischer-Tropsch จากถ่านหินหรือแก๊สธรรมชาติ เม็ดกลม สีขาวขุ่น มีขนาดประมาณ 5 มิลลิเมตร คุณสมบัติเด่นคือช่วยลดแรงเสียดทานของแอสฟัลต์ซีเมนต์เมื่ออุณหภูมิลดลง

- สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์ มีลักษณะเป็นผงสีขาว ละเอียดยกถ่ายเป้ง มีน้ำหนักเบา ได้มาจากระบวนการสังเคราะห์ซีโอไลต์ (โซเดียมอลูมิเนียมซิลิเกต) มีน้ำเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างโมเลกุลคุณสมบัติช่วยในการเพิ่มปริมาณเมื่ออุณหภูมิลดลงเช่นเดียวกัน

แต่สารผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิดนี้ให้คุณสมบัติเดียวกันคือ ช่วยในการบดอัดหรือทำงานได้ดีขึ้นที่อุณหภูมิผสมอ่อน แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สารผสมเพิ่มที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.3 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมใหม่ (Virgin Aggregate)

วัสดุมวลรวมใหม่ที่นำมาศึกษาเป็นชนิดหินปูน (Limestone) จากโรงโม่หินศิลาสากลพัฒนาอ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ในการศึกษานี้ได้ใช้มวลรวม ยู่่งหินร้อน (Hot Bin) 4 ขนาดได้แก่ Hot Bin 1 (หินฝุ่น), Hot Bin 2 (3/8 นิ้ว), Hot Bin 3 (1/2 นิ้ว) และ Hot Bin 4 (3/4 นิ้ว) แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วัสดุมวลรวมใหม่ประเภทหินปูนที่ใช้ในการศึกษา

คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมใหม่

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมใหม่ ดังนี้

- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) และการดูดซึมน้ำ (Absorption) ของมวลรวมหยาบ ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.207/2517 วิธีการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ

- ความถ่วงจำเพาะ (*Specific Gravity*) และการดูดซึมน้ำ (*Absorption*) ของมวลรวมละเอียด ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.209/2518 วิธีการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของ วัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด
- ความสึกหรอ (*Abrasion*) ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.202/2515 วิธีการทดสอบหา ความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion
- ค่าครรชนีความแบน (*Flakiness Index*) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.210/2518 วิธีการทดสอบหาค่าครรชนีความแบน (*Flakiness Index*)
- ค่าครรชนีความยาว (*Elongation Index*) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.211/2518 วิธีการทดสอบหาค่าครรชนีความยาว (*Elongation Index*)
- ความคงทนต่อการกัดกร่อน (*Soundness*) ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.213/2531 วิธีการทดสอบหาค่าความคงทน (*Soundness*) ของมวลรวม โดยการใช้โซเดียมซัลเฟตหรือ แมกนีเซียมซัลเฟต
- ค่าเทียบเท่าทราย (*Sand Equivalent*) ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.203/2515 วิธีการทดสอบหาค่าเทียบเท่าทราย
- ขนาดละเอียดของมวลรวม (*Gradation*) ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.ม.205/2517 วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล่าง

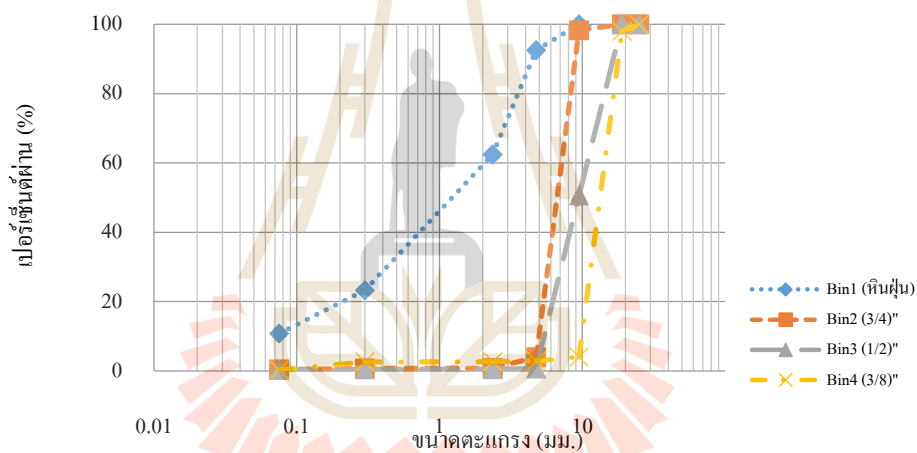
โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.2, 3.3 และรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมใหม่

คุณสมบัติ	มวลรวม ละเอียด	มวลรวมหยาบ		
		Bin 1 (หินฝุ่น)	Bin 2 (3/8")	Bin 3 (1/2")
Bulk Specific Gravity	2.672	2.670	2.685	2.684
Apparent Specific Gravity	2.696	2.699	2.715	2.713
การดูดซึมน้ำ, absorption (%)	0.33	0.40	0.41	0.40
ความสึกหรอ, abrasion (%)	-	34.68	34.64	31.8
ค่าครรชนีความแบน, Flakiness Index (%)	-	27.96	26.49	21.26
ค่าครรชนีความยาว, Elongation Index (%)	-	22.98	23.68	23.12
ความคงทนต่อการกัดกร่อน, Soundness	-	0.36	0.40	
ค่าเทียบเท่าทราย, Sand Equivalent (%)	66.67	-	-	-

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบหาขนาดละเอียด(Gradation) ของวัสดุมวลรวมใหม่

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	%ผ่านสะสม (Bin1) หินฝุ่น	%ผ่านสะสม		
		(Bin2) 3/8"	(Bin3) 1/2"	(Bin4) 3/4"
1" (25)	100	100	100	100
3/4" (19)	100	100	100	98.41
3/8" (9.5)	100	98.56	57.21	9.28
No.4 (4.75)	92.46	4.99	0.72	8.37
No.8(2.36)	62.32	0.91	0.47	6.9
No.50(0.3)	23.27	0.76	0.19	5.24
No.200(0.075)	10.80	0.58	0.10	1.45



รูปที่ 3.4 ขนาดละเอียด(Gradation) ของวัสดุมวลรวมใหม่

3.1.4 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผิวทางเก่า

วัสดุผิวทางเก่า(RAP)ที่นำมาศึกษาได้มาจากผิวทางลาดยางของถนนสาย ทล.291ตอนทาง
เลี้ยวเมืองมหาสารคาม ช่วง กม .1+140ถึงกม .2+209คันทางด้านขวา จ.มหาสารคาม โดยทำการ
ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผิวทางเก่าดังนี้



รูปที่3.5วัสดุผิวทางเก่าที่ใช้ในการศึกษา

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์(Asphalt Content, %AC)ที่มีอยู่ในผิวทางเก่าโดยใช้วิธีการเผาในเตาอบ(Ignition Method)ตามมาตรฐาน ASTM D 6307 Asphalt Content by Ignition Furnace ดังแสดงในตารางที่ 3.4

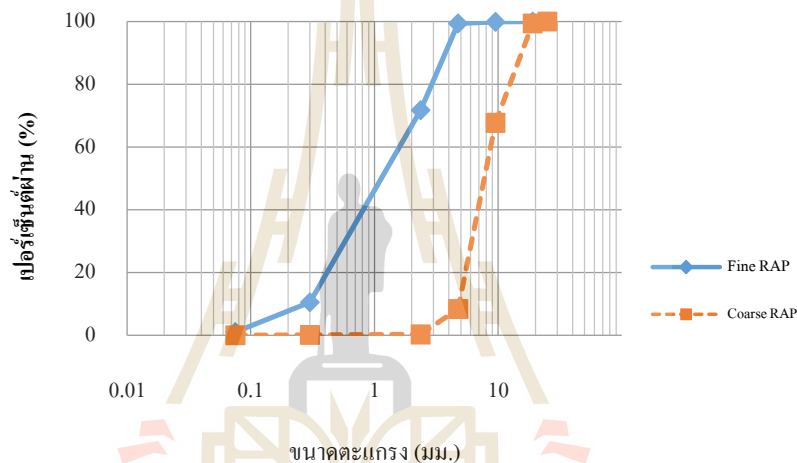
ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (%AC) ใน RAP จากการสุ่มตัวอย่าง

การทดสอบครั้งที่	%AC
1	3.38
2	3.37
3	3.37
ค่าเฉลี่ย	3.38
S.D.	0.5

ขนาดกะของวัสดุผิวทางเก่า(RAP)ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.ม.205/2517 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.5, ตารางที่ 3.6, รูปที่3.6และรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.5 การกระจายขนาดอนุภาคของวัสดุผิวทางเก่า(RAP)แบบไม่ล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์

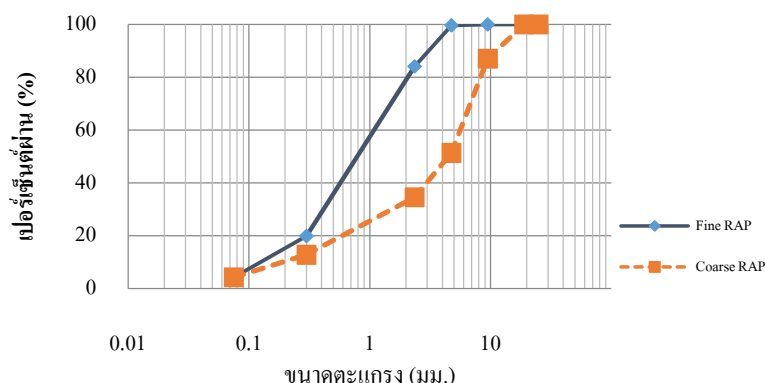
ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	%ผ่านสะสม	
	Fine RAP	Coarse RAP
1" (25)	100	100
3/4" (19)	100	99.39
3/8" (9.5)	99.84	67.69
No.4 (4.75)	99.33	8.38
No.8(2.36)	71.67	0.31
No.50(0.3)	10.54	0.15
No.200(0.075)	1.07	0.05



รูปที่ 3.6 ขนาดคละของวัสดุผิวทางเก่า แบบไม่ล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์

ตารางที่ 3.6 การกระจายขนาดอนุภาคของวัสดุผิวทางเก่า(RAP)แบบล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	%ผ่านสะสม	
	Fine RAP	Coarse RAP
1" (25)	100	100
3/4" (19)	100	100
3/8" (9.5)	100	87.01
No.4 (4.75)	99.61	51.36
No.8 (2.36)	84.13	34.57
No.50 (0.3)	19.89	12.81
No.200 (0.075)	4.22	4.26



รูปที่ 3.7 ขนาดคละของวัสดุผิวทางเก่า แบบล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดสอบขนาดคละของวัสดุทั้ง แบบล้างและไม่ล้างยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ พบว่าตัวอย่างที่ถูกล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์ออกจะมีขนาดอนุภาคเล็กกลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ถูกล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์ ค่าการทดสอบนี้จะถูกนำไปใช้ในการพิจารณาออกแบบอัตราส่วนผสมทุก ๆ อัตราส่วน โดยอัตราส่วนที่ถูกออกแบบจะต้อง เป็นไปตามมาตรฐานชั้นทางที่ ทล.-ม.408/2532 ชั้นทางBinder Courseขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้วหรือ 19 มิลลิเมตร

3.2 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

ในขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการออกแบบอัตราส่วนวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุมวลรวม ใหม่ และ ปริมาณปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ค่าเริ่มต้นของแต่ละอัตราส่วน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การออกแบบอัตราส่วนระหว่างวัสดุผิวทางเก่า (RAP) และวัสดุมวลรวมใหม่

จากนั้น ทำการออกแบบอัตราส่วนที่เหมาะสมจากผลการศึกษาในอดีต โดยที่ FHWA (2011) แนะนำว่าควรใช้วัสดุผิวทางเก่ามากกว่า 25% แต่สำหรับชั้นผิวทางไม่ควรเกิน 30% , Shu และคณะ (2012) แนะนำให้ใช้วัสดุผิวทางเก่ามากกว่า 30% ขณะที่ Mogawer และคณะ (2012) แนะนำให้ใช้วัสดุผิวทางเก่ามากกว่า 40% การทดสอบนี้จึงนำผลการศึกษาดังกล่าวมาเป็นแนวทาง ในการออกแบบอัตราส่วนผสมระหว่างผิวทางเก่า : มวลรวมใหม่เป็น 4 อัตราส่วนผสม ได้แก่ 0:100, 20:80, 35:65 และ 50:50 แสดงดังรูปที่ 3.8

1. อัตราส่วนผสมผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 0:100 โดยส่วนผสมจะประกอบไปด้วยหินฝุ่น (Bin1) 44%, มวลรวมขนาด $\frac{3}{8}$ " (Bin2) 20% และมวลรวมขนาด $\frac{3}{4}$ " (Bin4) 36% แสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่ 0:100

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรง						Combination Aggregate	มาตรฐาน ชั้นทาง Binder Course 3/4 นิ้ว (19 มม.)
	Bin 1 หินฝุ่น	Bin 2 3/8"	Bin 3 1/2"	Bin 4 3/4"	Fine RAP	Coarse RAP		
	(44%)	(20%)	(0%)	(36%)	(0%)	(0%)		
1" (25)	44	20	-	36	-	-	100	100
3/4" (19)	44	20	-	35.42	-	-	99.42	90-100
3/8" (9.5)	44	19.71	-	1.31	-	-	65.02	56-80
No.4 (4.75)	40.68	1	-	0.87	-	-	42.55	35-65
No.8 (2.36)	27.42	0.18	-	0.84	-	-	28.44	23-49
No.50 (0.3)	10.24	0.15	-	0.62	-	-	11.01	5-19
No.200 (0.075)	4.47	0.12	-	0.07	-	-	4.94	2-8

2 อัตราส่วนผสมผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 20:80 โดยส่วนผสมจะประกอบไปด้วย หินฝุ่น (Bin1) 35%, มวลรวมขนาด 3/8" (Bin2) 16%, มวลรวมขนาด 3/4" (Bin4) 29% วัสดุผิวทางเก่า ละเอียด 6% และวัสดุผิวทางเก่าหยาบ 14% แสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่ 20:80

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรง						Combination Aggregate	มาตรฐาน ชั้นทาง Binder Course 3/4 นิ้ว (19 มม.)
	Bin 1 หินฝุ่น	Bin 2 3/8"	Bin 3 1/2"	Bin 4 3/4"	Fine RAP	Coarse RAP		
	(35%)	(16%)	(0%)	(29%)	(6%)	(14%)		
1" (25)	35.2	16	-	29	6	14	100	100
3/4" (19)	35.2	16	-	28	6	14	99.54	90-100
3/8" (9.5)	35.2	15.77	-	1.05	6	12.18	70.20	56-80
No.4 (4.75)	32.55	0.8	-	0.69	5.98	7.19	47.20	35-65
No.8 (2.36)	21.94	0.15	-	0.67	5.05	4.84	32.64	23-49
No.50 (0.3)	8.19	0.12	-	0.49	1.19	1.79	11.79	5-19
No.200 (0.075)	3.8	0.09	-	0.06	0.25	0.60	4.8	2.8

อัตราส่วนผสมผิวทางเก่า (RAP)ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 35:65 โดยส่วนผสมจะประกอบไปด้วย หินฝุ่น(Bin1)29%, มวลรวมขนาด 3/8” (Bin2)13%,มวลรวมขนาด3/4” (Bin4)23%วัสดุผิวทางเก่า ละเอียด10.5%และวัสดุผิวทางเก่าหยาบ24.5% แสดงดังตารางที่ 3.9

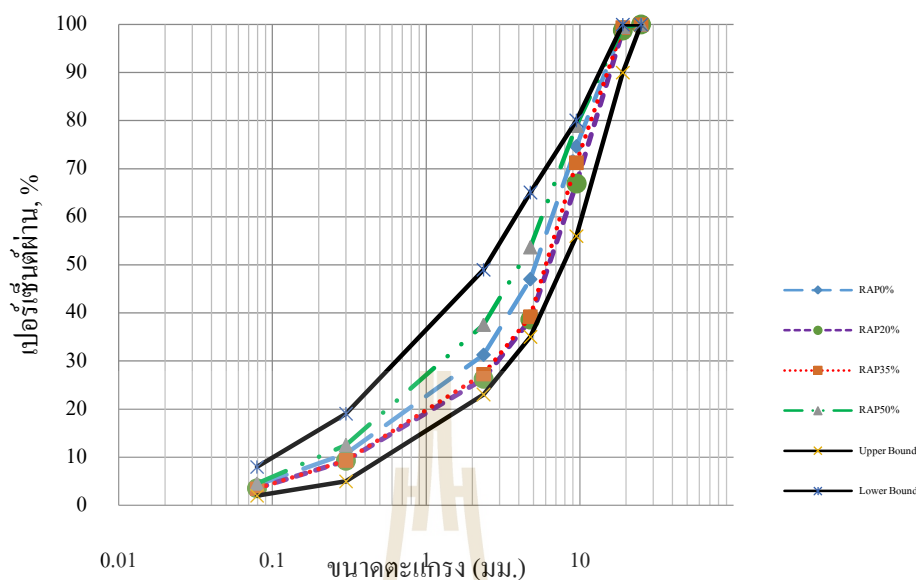
ตารางที่ 3.9การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 35:65

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรง						Combination Aggregate	มาตรฐาน ชั้นทาง Binder Course 3/4 นิ้ว (19 มม.)
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Fine	Coarse		
	หินฝุ่น (29%)	3/8” (13%)	1/2” (0%)	3/4” (23%)	RAP (10.5%)	RAP (24.5%)		
1” (25)	28.6	13	-	23.4	10.5	24.5	100	100
3/4” (19)	28.6	13	-	23.02	10.5	24.5	99.62	90-100
3/8” (9.5)	28.6	12.81	-	0.85	10.5	21.32	74.08	56-80
No.4 (4.75)	26.44	0.65	-	0.56	10.46	12.58	50.70	35-65
No.8 (2.36)	17.82	0.12	-	0.54	8.83	8.47	35.79	23-49
No.50 (0.3)	6.65	0.10	-	0.40	2.09	3.14	12.38	5-19
No.200 (0.075)	3.09	0.08	-	0.04	0.44	1.04	4.7	2.8

3. อัตราส่วนผสมผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 50:50 โดยส่วนผสมจะประกอบไปด้วยหินฝุ่น (Bin1) 22%, มวลรวมขนาด 3/8” (Bin2) 10%, มวลรวมขนาด3/4” (Bin4) 18%, วัสดุผิวทางเก่าละเอียด 15% และวัสดุผิวทางเก่าหยาบ 35% แสดงดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP)ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 50:50

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรง						Combination Aggregate	มาตรฐาน ชั้นทาง Binder Course 3/4 นิ้ว (19 มม.)
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Fine	Coarse		
	หินฝุ่น (22%)	3/8” (10%)	1/2” (0%)	3/4” (18%)	RAP (15%)	RAP (35%)		
1” (25)	22	10	-	18	15	35	100	100
3/4” (19)	22	10	-	17.71	15	35	99.71	90-100
3/8” (9.5)	22	9.86	-	0.66	15	30.35	77.97	56-80
No.4 (4.75)	20.34	0.50	-	0.43	14.94	17.98	54.19	35-65
No.8 (2.36)	13.71	0.09	-	0.42	12.62	12.10	38.94	23-49
No.50 (0.3)	5.12	0.08	-	0.31	2.98	4.48	12.97	5-19
No.200 (0.075)	2.38	0.06	-	0.03	0.63	1.49	4.59	2-8



รูปที่ 3.8 อัตราส่วนผสมชั้นทางBinder Courseขนาด ¾ นิ้ว

3.2.2 การประมาณความต้องการแอสฟัลต์ซีเมนต์ในส่วนผสม (P_b)

โดยในแต่ละอัตราส่วนวัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่ จะใช้ปริมาณแอสฟัลต์ในการผสมที่แตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ตามอัตราส่วนต่างๆ ที่มีปริมาณแอสฟัลต์เดิมอยู่ในวัสดุ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคำนวณหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีอยู่เดิม และคำนวณหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการในส่วนผสม ดังสมการที่ 3.1 (FHWA, 2012)

$$P_b = 0.035a + 0.045b + Kc + F \quad (3.1)$$

โดยที่ P_b = ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการในส่วนผสม (% โดยน้ำหนักของก้อนตัวอย่าง)

a = % วัสดุมวลรวมที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมที่ค้ำตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (No.8)

b = % วัสดุมวลรวมที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมที่ผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (No.8) และค้ำตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (No.200)

c = % วัสดุมวลรวมที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร

K = 0.15 เมื่อมวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร เป็นสัดส่วน 10-15%

= 0.18 เมื่อมวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร เป็นสัดส่วน 6-10%

= 0.20 เมื่อมวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร $\leq 5\%$

F = factor of aggregate มีค่าระหว่าง 0-2% ขึ้นอยู่กับชนิดการดูซึมของมวลรวม
(ในกรณี ไม่มีข้อมูลแนะนำให้ใช้ 0.7%)

จากนั้นทำการคำนวณหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีอยู่เดิม ในแต่ละอัตราส่วนผสมต่างๆ จากการคำนวณพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการสำหรับอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม (RAP): มวลรวมใหม่ 0:100 (P_b) เท่ากับ 5.27% โดยน้ำหนักของส่วนผสม แสดงดังตาราง 3.11

ตารางที่ 3.11 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (P_b) สำหรับอัตราส่วน RAP ต่อมวลรวมใหม่ 0:100

a	b	K	c	F	P_b (%)
71.56	23.5	0.2	4.94	0.7	5.27

จากการคำนวณพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการสำหรับอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม (RAP): มวลรวมใหม่ 20:80 (P_b) เท่ากับ 5.20% โดยน้ำหนักของส่วนผสม แสดงดังตาราง 3.12

ตารางที่ 3.12 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (P_b) สำหรับอัตราส่วน RAP ต่อมวลรวมใหม่ 20:80

a	b	K	c	F	P_b (%)
67.36	427.8	0.2	4.8	0.7	5.20

จากการคำนวณพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการสำหรับอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม (RAP): มวลรวมใหม่ 35:65 (P_b) เท่ากับ 5.17% โดยน้ำหนักของส่วนผสม แสดงดังตาราง 3.13

ตารางที่ 3.13 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (P_b) สำหรับอัตราส่วน RAP ต่อมวลรวมใหม่ 35:65

a	b	K	c	F	P_b (%)
64.21	31.09	0.2	4.7	0.7	5.17

จากการคำนวณพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการสำหรับอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม (RAP): มวลรวมใหม่ 50:50 (P_b) เท่ากับ 5.12% โดยน้ำหนักของส่วนผสม แสดงดังตาราง 3.14

ตารางที่ 3.14 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (P_b) สำหรับอัตราส่วน RAP ต่อมวลรวมใหม่ 50:50

a	b	K	c	F	P_b (%)
61.06	34.35	0.2	4.59	0.7	5.12

3.2.2 การคำนวณหาปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการออกแบบก้อนตัวอย่าง

เมื่อทราบปริมาณแอสฟัลท์ที่ต้องการในส่วนผสม (P_b) จึงทำการคำนวณปริมาณส่วนผสมต่าง ๆ ดังสมการที่ 3.2 ถึง 3.4 (The Asphalt Institute Manual, 1986)

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - rP_{sb})P_b}{100(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}} \quad (3.2)$$

$$P_{sm} = \frac{100(100 - r)}{(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_b}{100 - P_{sb}} \quad (3.3)$$

$$P_{ns} = r - \frac{rP_b}{100} \quad (3.4)$$

โดยที่ P_{nb} = ปริมาณแอสฟัลต์ใหม่ที่ต้องการเพิ่มลงในส่วนผสม

P_{sm} = ปริมาณวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ที่ใช้ในส่วนผสม

P_{ns} = ปริมาณมวลรวมใหม่ที่ต้องการในส่วนผสม

r = ปริมาณของมวลรวมใหม่ตามอัตราส่วนที่กำหนด

P_{sb} = ปริมาณแอสฟัลต์ที่มีอยู่ในวัสดุผิวทางเก่า ($P_{sb}=3.38$)

P_b = ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ

ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการ ตามที่ได้จากการคำนวณตามสมการข้างต้น จะมีปริมาณที่แตกต่างกันออกไปตามอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม วัสดุมวลรวมใหม่ และ ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ เมื่อออกแบบให้อัตราส่วนผสมทั้งหมดของก้อนตัวอย่างเป็น 100% สามารถสรุปออกมาได้ ดังตารางที่ 3.15 ถึง ตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.15 ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับ อัตราส่วนผสม วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อ มวลรวมใหม่เท่ากับ 0:100

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ(%), P_b	4.5	5.0	5.5
ปริมาณแอสฟัลต์(%), P_{nb}	4.5	5.0	5.5
RAP(%), P_{sm}	0	0	0
มวลรวมใหม่ (%), P_{ns}	95.5	95.0	94.5
รวม (%)	100.0	100.0	100.0

ตารางที่ 3.16 ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับ อัตราส่วนผสม วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่เท่ากับ 20:80

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ(%), P_b	4.5	5.0	5.5
ปริมาณแอสฟัลต์ (%), P_{nb}	3.6	4.0	4.4
RAP (%), P_{sm}	20.1	20.0	19.9
มวลรวมใหม่ (%), P_{ns}	76.4	76.0	75.6
รวม (%)	100.0	100.0	100.0

ตารางที่ 3.17 ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับ อัตราส่วนผสม วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่เท่ากับ 35:65

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ(%), P_b	4.5	5.0	5.5
ปริมาณแอสฟัลต์ (%), P_{nb}	3.15	3.5	3.85
RAP(%), P_{sm}	30.0	29.9	29.8
มวลรวมใหม่ (%), P_{ns}	66.85	66.5	66.15
รวม (%)	100.0	100.0	100.0

ตารางที่ 3.18 ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับ อัตราส่วนผสม วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่เท่ากับ 50:50

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ(%), P_b	4.5	5.0	5.5
ปริมาณแอสฟัลต์ (%), P_{nb}	2.7	3.0	3.3
RAP(%), P_{sm}	40.1	39.9	39.7
มวลรวมใหม่ (%), P_{ns}	57.3	57.0	56.7
รวม (%)	100.0	100.0	100.0

3.3 การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม

โดยทำการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีมาร์แชลล์ตามมาตรฐาน ASTM D6926 Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus ซึ่งออกแบบให้ก้อนตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มิลลิเมตร และสูง 64 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก 1,200 กรัม จำนวน 3 ก้อน ตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนผสมซึ่งในการศึกษานี้ได้ออกแบบก้อนตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันตามอัตราส่วนวัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่ 4 อัตราส่วน (0:100, 20:80, 35:65 และ 50:50) โดยใช้สารผสมเพิ่มที่แตกต่างกัน 3 วิธีคือไม่ใช้สารผสมเพิ่ม, การใช้สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ (Sasobit[®]) และ การใช้สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์ (Advera[®]) อีกทั้งยังใช้อุณหภูมิในการผสมแตกต่างกัน 3 อุณหภูมิได้แก่ 170, 150 และ 130 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็น 36 สูตรส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19รายการเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

วัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่	การใช้สารผสมเพิ่ม	อุณหภูมิที่ใช้ผสม (°C)
0:100	ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม	170
		150
		130
	สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ (Sasobit [®])	170
		150
		130
	สารผสมเพิ่มชนิดโพลี (Advera [®])	170
		150
		130
20:80	ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม	170
		150
		130
	สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ (Sasobit [®])	170
		150
		130
	สารผสมเพิ่มชนิดโพลี (Advera [®])	170
		150
		130
35:65	ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม	170
		150
		130
	สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ (Sasobit [®])	170
		150
		130
	สารผสมเพิ่มชนิดโพลี (Advera [®])	170
		150
		130
50:50	HMA	170
		150
		130
	สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ (Sasobit [®])	170
		150
		130

ตารางที่ 3.19รายการเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

วัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่	การใช้สารผสมเพิ่ม	อุณหภูมิที่ใช้ผสม (°C)
--	-------------------	------------------------

50:50	สารผสมเพิ่มชนิดโฟม (Advera [®])	170
		150
		130

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการผสมร้อน

วิธีการผสมร้อนเป็นวิธีการผสมที่ไม่มีการเติมสารผสมเพิ่มใด ๆ โดยทำการผสมและบดอัดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 170, 150 และ 130 องศาเซลเซียส เป็นจำนวน 75 ครั้งต่อด้าน ด้วยเครื่องบดอัดอัตโนมัติ HUMBOLDT MFG CO รุ่น H-1334BA.4F สูง 65 นิ้ว เป็นจำนวนด้านละ 75 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.9

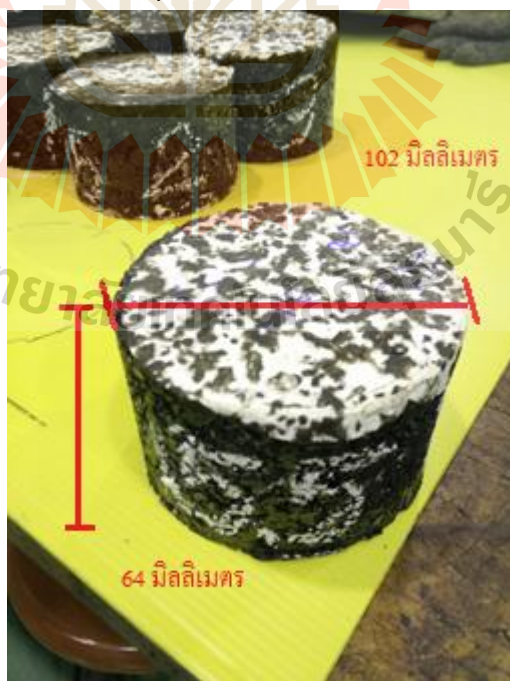


รูปที่ 3.9 เครื่องบดอัดอัตโนมัติ



รูปที่ 3.10 ตรวจสอบอุณหภูมิด้วยInfrared Thermometer Gun

จากรูปที่ 3.10 เป็นการตรวจสอบอุณหภูมิระหว่างการผสม วัสดุและแอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งในขั้นตอนนี้ อุณหภูมิอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้แต่ไม่ควรเกิน 5 องศาเซลเซียส จากวิธีการผสมและบดอัด เมื่อทำการบดอัดตัวอย่างเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นตัวลง แล้วดันตัวอย่างออกจากแบบหล่อ (Mold) แล้วทำการทดสอบคุณสมบัติโดยวิธีมาร์แชลล์ในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างที่ดันออกจากแบบหล่อ

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการผสมอุ่น

สำหรับวิธีการผสมอุ่นนั้นมีขั้นตอนการผสมเช่นเดียวกับวิธีการผสมร้อนดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.1 ไปข้างต้น แตกต่างกันเพียงแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมอุ่นจะต้องมีการผสมกันระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70 และสารผสมเพิ่ม ซึ่งได้แก่ Sasobit® และ Advera® โดยมีรายละเอียดการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการผสมอุ่นจำแนกตามชนิดของสารผสมเพิ่มดังนี้ ผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์เข้ากับสารผสมเพิ่มจำแนกตามชนิดสารผสมเพิ่มดังนี้

1. สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ (Sasobit®)

การเตรียมตัวอย่างทำโดยผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์เข้ากับสารผสมเพิ่มชนิด Sasobit® ด้วยประมาณ 3% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ทำการคนอย่างต่อเนื่องจนสามารถสังเกตได้ว่าสารผสมเพิ่ม Sasobit® ละลายจนเป็นเนื้อเดียวกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เมื่อวัสดุเย็นตัวลงจะมีลักษณะผิวหน้าหรือผิวสัมผัสที่เปลี่ยนไปคล้ายขี้ผึ้ง (Wax) โดยรูปที่ 3.12ก และ ขแสดง การเปรียบเทียบผิวหน้าของแอสฟัลต์ซีเมนต์ก่อนและหลังผสมกับสารผสมเพิ่ม Sasobit® ตามลำดับ



(ก)(ข)

รูปที่ 3.12 (ก.) แอสฟัลต์ซีเมนต์ (ข.)แอสฟัลต์ซีเมนต์หลังจากที่มีการเติม Sasobit®

2. สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์ (Advera®)

การเตรียมตัวอย่างทำโดยการเติม Advera® ประมาณ 0.25% โดยน้ำหนักก่อนตัวอย่าง ลงไปพร้อมวัสดุมวลรวมก่อนให้ความร้อนเป็นการผสมแห้ง (Dry Mixing) โดยทำการคลุกเคล้า Advera® ให้เข้ากันอย่างดีกับวัสดุมวลรวม ส่วนในขั้นตอนของการเติมแอสฟัลต์ซีเมนต์นั้น สามารถเติมลงในวัสดุได้โดยตรง เนื่องจากการผสมกันระหว่าง Advera® และวัสดุมวลรวมแล้ว



รูปที่ 3.13 การเตรียมตัวอย่างการผสม

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม

หลังจากทราบปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการออกแบบก้อนตัวอย่างในหัวข้อ 3.2 ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์หาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content; OAC) ด้วยเครื่องทดสอบมาร์แชลล์ ตามมาตรฐาน ASTM D 6927 Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures โดยพิจารณาความหนาแน่น (Density), ช่องว่างอากาศ (Air Voids,%), ช่องว่างถูกเติมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ (VFA,%), ช่องว่างในวัสดุรวมรวม (VMA,%), การไหล (Flow) และค่าเสถียรภาพ (Stability,lbs) โดยค่าเสถียรภาพ จะแสดงถึงความต้านทานต่อแรงกระทำ สูงสุดของ วัสดุโดยไม่เกิดแรงเฉือนระหว่างอนุภาค โดยในการศึกษาได้ใช้ ปริมาณแอสฟัลต์ที่แตกต่างกัน 3 ค่าในการวิเคราะห์หาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม โดยมี 1 ค่าที่มีค่าปริมาณมากกว่า ปริมาณ แอสฟัลต์ ซีเมนต์ ที่ต้องการ (Pb) และมีอีก 1 ค่าที่มีค่าน้อยกว่าค่า Pb ที่คำนวณได้ ซึ่งได้แก่ 4.5%, 5% และ 5.5% โดยทำการเตรียมตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่างต่อ 1 ค่าปริมาณแอสฟัลต์

จากนั้นนำก้อนตัวอย่างมาทำการทดสอบ หาความหนาแน่น, การไหล, เสถียรภาพ ร้อยละช่องว่างที่ถูกเติมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ และ ร้อยละ ช่องว่าง ในมวลรวม ตามข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ และพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอสฟัลต์กับความหนาแน่น การไหล เสถียรภาพ ร้อยละช่องว่างที่ถูกเติมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ และ

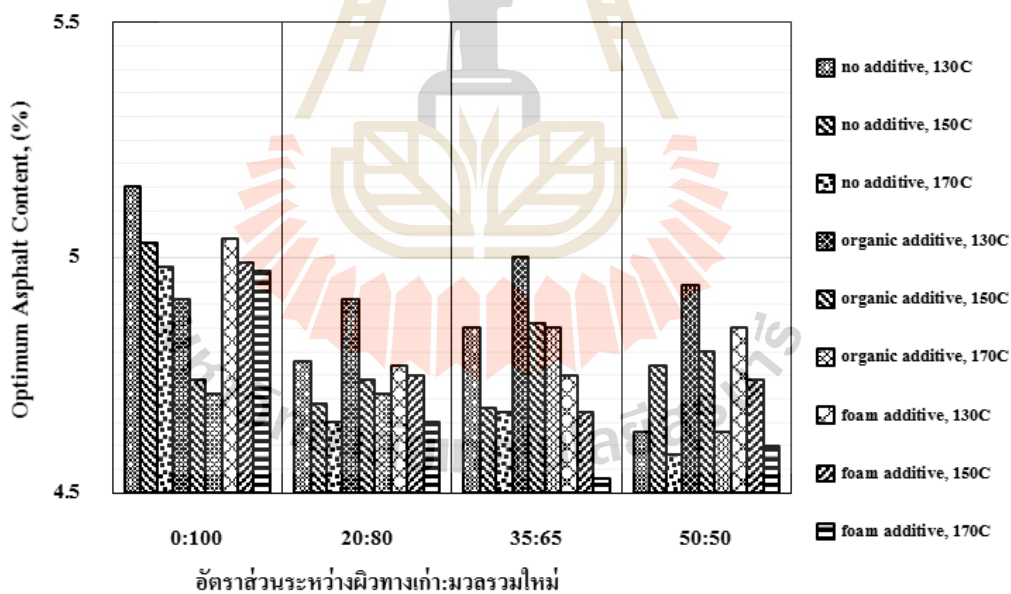
ร้อยละ ช่องว่าง ในมวลรวม แอสฟัลต์รูปที่ ก 1-ก36 ในภาคผนวก ก .ในการหาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม(Optimum Asphalt Content; OAC) โดยพิจารณาจากช่องว่างอากาศที่ 4% โดยผลการศึกษาปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ที่เหมาะสม และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ที่ต้องการ (Pnb) แสดงดังตารางที่ 3.20รูปที่ 3.14 และรูปที่ 3.15

ตารางที่ 3.20 ปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ที่เหมาะสมและปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ใหม่ ที่ต้องการที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

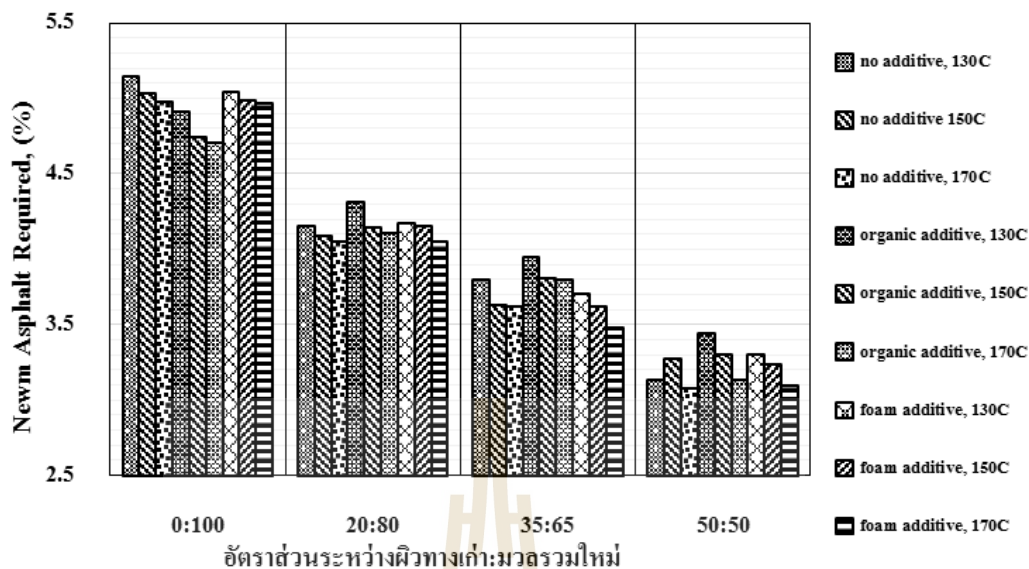
วัสดุมวลรวม เก่า:มวลรวม ใหม่	การใช้สารผสมเพิ่ม	อุณหภูมิที่ใช้ ผสม (°C)	ช่องว่าง อากาศ (%)	แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ เหมาะสม (%OAC)	แอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ (%Pnb)
0:100	ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม	170	4.00	4.98	4.98
		150	4.00	5.03	5.03
		130	4.00	5.15	5.15
	สารผสมเพิ่มชนิด อินทรีย์ (Sasobit®)	170	4.00	4.71	4.71
		150	4.00	4.74	4.74
		130	4.00	4.91	4.91
	สารผสมเพิ่มชนิด โพลี (Advera®)	170	4.00	4.97	4.97
		150	4.00	4.99	4.99
		130	4.00	5.04	5.04
20:80	ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม	170	4.00	4.65	4.05
		150	4.00	4.69	4.09
		130	4.00	4.78	4.18
	สารผสมเพิ่มชนิด อินทรีย์ (Sasobit®)	170	4.00	4.71	4.11
		150	4.00	4.74	4.14
		130	4.00	4.91	4.31
	สารผสมเพิ่มชนิด โพลี (Advera®)	170	4.00	4.65	4.05
		150	4.00	4.75	4.15
		130	4.00	4.77	4.17
35:65	ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม	170	4.00	4.67	3.62
		150	4.00	4.68	3.63
		130	4.00	4.85	3.80
	สารผสมเพิ่มชนิด อินทรีย์ (Sasobit®)	170	4.00	4.85	3.80
		150	4.00	4.86	3.81
		130	4.00	5.00	3.95
	สารผสมเพิ่มชนิด โพลี (Advera®)	170	4.00	4.53	3.48
		150	4.00	4.67	3.62
		130	4.00	4.75	3.70

ตารางที่ 3.20 ปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ ที่เหมาะสมและปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ใหม่ ที่ต้องการที่ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%(ต่อ)

วัสดุรวม เก่า:รวม ใหม่	การใช้สารผสมเพิ่ม	อุณหภูมิที่ใช้ผสม (°C)	ช่องว่าง อากาศ (%)	แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ เหมาะสม (%OAC)	แอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ (%Pnb)
50:50	ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม	170	4.00	4.58	3.08
		150	4.00	4.77	3.27
		130	4.00	4.91	3.41
	สารผสมเพิ่มชนิด อินทรีย์ (Sasobit®)	170	4.00	4.63	3.13
		150	4.00	4.80	3.30
		130	4.00	4.94	3.44
	สารผสมเพิ่มชนิด โฟม (Advera®)	170	4.00	4.60	3.10
		150	4.00	4.74	3.24
		130	4.00	4.88	3.35



รูปที่ 3.14 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม เมื่อช่องว่างอากาศเท่ากับ 4% จำแนกตามอัตราส่วนของวัสดุ

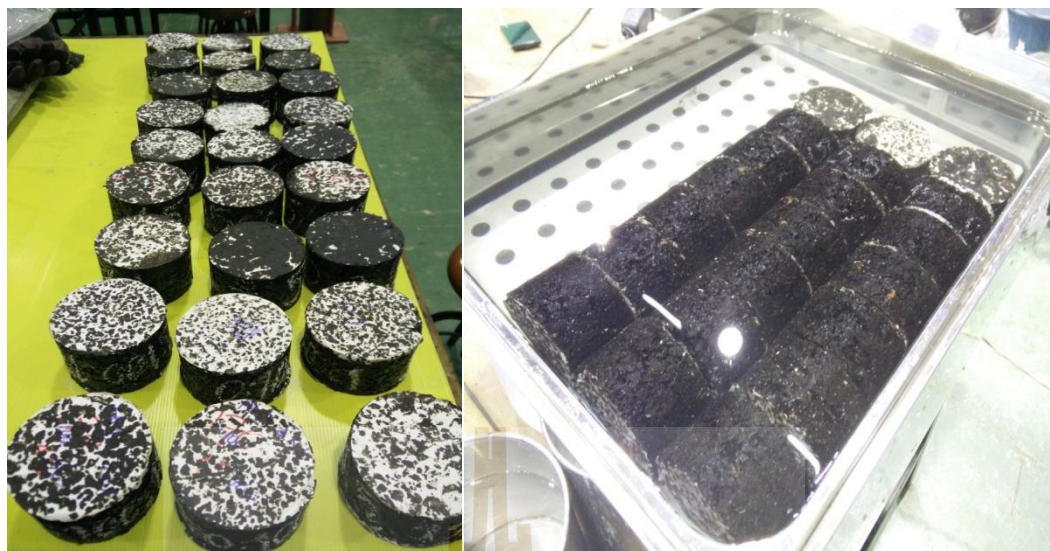


รูปที่ 3.15 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ที่ต้องการ จำแนกตามอัตราส่วนของวัสดุ

จากรูปที่ 3.14 และ รูปที่ 3.15 แสดงปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ที่เหมาะสม และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ ใหม่ที่ต้องการที่ได้จากการ ทดสอบส่วนผสมโดยวิธีมาร์แชลล์ทั้งหมด 36 สูตรส่วนผสม (Job Mix Formula; JMF) เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4% พบว่าเมื่ออุณหภูมิการผสมลดลง ส่วนผสมต้องการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นเพื่อใช้ในการเคลือบผิวมวลรวม เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำแอสฟัลต์ซีเมนต์จะมีความหนืด ส่งผลให้ความสามารถในการเคลือบผิวมวลรวมประสิทธิภาพต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมที่ถูกผสมที่อุณหภูมิสูงกว่า

3.5 การเตรียมก้อนตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบความไวต่อความชื้น

ในขั้นตอนนี้เป็นการจัดเตรียมก้อนตัวอย่าง ที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อใช้ทดสอบความไวต่อความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM D6926 Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall โดยก้อนตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มิลลิเมตร และสูง 64 มิลลิเมตร แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 สภาวะคือสภาวะเปียก (แช่น้ำ) และสภาวะแห้ง สภาวะละ 3 ก้อนตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนผสม แสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สำหรับสภาวะเปียกทำโดยการจัดตัวอย่างให้อิ่มตัวด้วยน้ำในช่วง 55 ถึง 80% ดังแสดงในรูปที่ 3.17 หลังจากนั้นจะนำก้อนตัวอย่างแช่ในอ่างน้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิอุณหภูมิที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และควบคุมอุณหภูมิในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิให้มี อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงสำหรับ ก่อนทำการทดสอบ สำหรับสภาวะแห้งทำการควบคุมก้อนตัวอย่าง ให้อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ก่อนทำการทดสอบ



รูปที่ 3.17 การเตรียมตัวอย่างในสภาวะเปียก

3.6 การทดสอบความไวต่อความชื้น

ในการศึกษานี้ได้ใช้วิธีการทดสอบแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength Test) ตามมาตรฐาน ASTM D6931 Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures โดยกำหนดให้ Loading Strip ควรมีความกว้าง 12.70 ± 0.3 มม. สำหรับตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มม. และ Loading Strip ควรยาวกว่าความหนาของก้อนตัวอย่างและก้อนตัวอย่างควรมีความสูงอย่างน้อย 50.8 ± 5 มม./นาที่ จนกระทั่งก้อนตัวอย่างเกิดการวิบัติจึงบันทึกค่าแรงกระทำสูงสุด

การทดสอบแรงดึงทางอ้อมเป็นการให้แรงกระทำเป็นแรงอัด (Compaction Load) โดยสามารถให้แรงกระทำ 2 แบบ ได้แก่ แรงกระทำซ้ำ (Dynamic Load) และแรงกระทำคงที่ (Static Load) โดยในการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธีให้แรงกระทำคงที่ ด้วยอัตรา 50 มม/นาที่ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อม สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.5

$$S_t = \frac{2P}{\pi Dt} \quad (3.5)$$

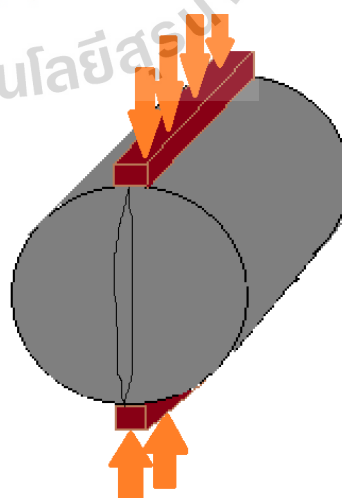
โดยที่

S_t = Tensile Stress, kPa (psi)

P = น้ำหนักที่กระทำก่อนตัวอย่าง, N (lbf)

t = ความสูงของก้อนตัวอย่างก่อนทดสอบ, mm. (in)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง, mm. (in)



รูปที่ 3.18 การทดสอบแรงดึงทางอ้อม

ในการพิจารณาแรงดึงทางอ้อมเฉลี่ยในสภาวะเปียกต่อสภาวะแห้งหรือค่า Tensile Strength Ratio (TSR) ตามมาตรฐาน ASTM D4867 Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixture โดยค่า TSR ควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 80%

จากนั้นคำนวณค่าสัดส่วนระหว่างแรงดึงทางอ้อมในสภาวะเปียกเทียบกับสภาวะแห้ง ดังสมการที่ 3.6 โดยค่า TSR มีค่าไม่ต่ำกว่า 80%

$$TSR = (S_{tm}/S_{td}) 100 \quad (3.6)$$

โดยที่ TSR = Tensile Stress Ratio, %

S_{tm} = ค่าเฉลี่ยของ tensile stress ในสภาวะเปียก

S_{td} = ค่าเฉลี่ยของ tensile stress ในสภาวะแห้ง

ในการวิเคราะห์โอกาสที่จะเกิดความเสียหายเนื่องจากความชื้น (Moisture Damage) จะพิจารณาค่า TSR ถ้าส่วนผสมใดมีค่า %TSR สูงกว่าแสดงว่าจะมีความไวต่อความชื้น ในทำนองเดียวกันถ้ามีส่วนผสมใดมีค่า TSR ที่ต่ำ แสดงว่าส่วนผสมนั้นมีโอกาสเกิดความเสียหายเนื่องจากความชื้นได้สูงกว่า

3.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 เป็นการวิเคราะห์ผลการศึกษารอบแบบอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลล์ เปรียบเทียบ อัตราส่วนระหว่างวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่ที่แตกต่างกัน 4 อัตราส่วนผสมและเปรียบเทียบวิธีการผสมและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น รายละเอียดแสดงดังบทที่ 4

เอกสารอ้างอิง

- กรมทางหลวง (2539) สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง .มาตรฐานงานทาง .โรงพิมพ์ชุมชน
สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร
- กรมทางหลวง .สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง (2543) มาตรฐานวิธีการทดลอง .โรงพิมพ์
องค์การรับส่งสินค้าและวัสดุภัณฑ์, กรุงเทพมหานคร
- ณัฐภรณ์ เจริญธรรม และ กัณวีร์ กนิษฐ์พงศ์(2554). การสำรวจความเสียหายเนื่องจากความชื้น
ในแอสฟัลท์ คอนกรีตชนิดผสมอุ่นด้วยการทดสอบการคืบแบบการให้แรงกระทำซ้ำ,
งานประชุมวิชาการการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 6, มหาวิทยาลัยธนเรศวร, จ. พิษณุโลก,
ประเทศไทย
- Ali Abbaset al(2013). Effect of temperature reduction, foaming water content, and aggregate
moisture content on performance of foamed warm mix asphalt. **Construction and
Building Materials**, 48, 1058-1066. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.07.081
- American Society for Testing Material. (2010). **Annual Book of ASTM Standards**. Section 4,
Construction, Volume 04.03, Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems
.PA:USA. Building Stones, Philadelphia.
- Ashley Busset al (2015) **Evaluation of moisture susceptibility tests for warm mix
asphalts**.Construction and Building MaterialsVolume 102, Part 1, 15 January 2016,
Pages 358–366
- Audrey Copeland (2011) **Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the
Practice**
- Borleo, Kanitpong, and Charoentham.(2008).Performance Evaluation of Warm Mix Asphalt
Produced with Sasobit Additive,**6th ICPT**, Sapporo, Japan
- Colbert, B., and You, Z. (2011). The determination of mechanical performance of laboratory
produced hot mix asphalt mixtures using controlled RAP and virgin aggregate size
fractions.**Construction and Building Materials**, 26(1), 655-662. doi:
10.1016/j.conbuildmat.2011.06.068

- D'Angelo et al.(2008). **Warm-Mix Asphalt: European Practice**. Alexandria, VA: American Trade Initiatives.
- Civil Engineering Portal. (2007) **Design graphs for Marshall Mix** [On-line]. Available: <http://www.engineeringcivil.com/what-is-marshall-mix-design-for-bituminous-materials.html>
- Edward J. Sullivan and Andrew Moss (2014). **Paving Cost Comparisons: Warm-Mix Asphalt Versus Concrete**
- Feipeng Xiao et al.(2014) Influence of Antistripping Additives on Moisture Susceptibility of Warm Mix Asphalt Mixtures **Journal of Materials in Civil Engineering** Volume 22, Issue 10 (October 2010)
- FHWA.(2012) **Hot Mix Asphalt Recycling (Materials and Mix Design)**[On-line]. Available:http://ntl.bts.gov/lib/7000/7600/7607/chpt_07.pdf
- Gonzalo Valdés et al. (2010) Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP) **Construction and Building Materials** Volume 25, Issue 3, March 2011, Pages 1289–1297
- Graham C. Hurley, Brian D. Prowell (2005).(2005).**EVALUATION OF SASOBIT® FOR USE IN WARM MIX ASPHALT**
- Guo, N., You, Z., Zhao, Y., Tan, Y., & Diab, A. (2014). Laboratory performance of warm mix asphalt containing recycled asphalt mixtures. **Construction and Building Materials**, 64, 141-149. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.002
- John Shaw (2007) **TWG – Warm Mix Asphalt**
- Kanitpong, K., Sonthong, S., Nam, K., Martono, W., & Bahia, H. U.(2007)**Laboratory Study on Warm Mix Asphalt Additives**
- Kvasnak, Andrea and West Randy C (2009) Case Study of Warm-Mix Asphalt Moisture Susceptibility in Birmingham, Alabama **Transportation Research Board Business Office** 500 Fifth Street, NW Washington, DC 20001 USA
- Marisa Dinis-Almeida , João Castro-Gomes , Cesare Sangiorgi , Salah E. Zoorob , Márcia Lopes Afonso (2016) Performance of Warm Mix Recycled Asphalt containing up to 100% RAP **Construction and Building Materials** Volume 112, 1 June 2016, Pages 1–6

- Martins Zaumanis and Juris Smirnovs(2011). analysis of possibility for use of warm mix asphalt in Latvia **3rd International Conference CIVIL ENGINEERING`11 Proceedings I BUILDING MATERIALS**
- Martins ZAUMANIS (2010), **Warm Mix Asphalt Investigation**[On-line]. Available:http://www.warmmixasphalt.org/submissions/117_20100630_M.Zaumanis_WMA_Master_thesis.pdf
- Martina Irene et al (2015) Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling **Resources, Conservation and Recycling** Volume 104, Part A, November 2015, Pages 224–238
- Mogawer PE, W.S et al. Incorporating high percentages of recycled asphalt pavement and warm- mix asphalt technology into thin hot-mix asphalt overlays as pavement preservation strategy. In: **Transportation researchboard 88th annual meeting**. Transportation Research Board; 2009. 21p.
- Rodrigo Miró , et al (2011) Evaluation of high modulus mixture behavior with high reclaimed asphalt pavement (RAP) percentages for sustainable road **Construction Construction and Building Materials** Volume 25, Issue 10, October 2011, Pages 3854–3862
- The Asphalt Institute (1986). **Asphalt Hot-Mix Recycling**, The Asphalt Institute Manual Series No. 20 (MS-20), Second Edition.
- Yong-Rak Kim et al(2012) Moisture Damage Characterization of Warm-Mix Asphalt Mixtures Based on Laboratory-Field Evaluation **Construction and Building Materials** Volume 31, June 2012, Pages 204–211
- Yuhong Wang (2016) The effects of using reclaimed asphalt pavements (RAP) on the long-term performance of asphalt concrete overlays **Construction and Building Materials** Volume 120, 1 September 2016, Pages 335–348
- Shu, X., Huang, B., Shrum, E. D., & Jia, X. (2012). Laboratory evaluation of moisture susceptibility of foamed warm mix asphalt containing high percentages of RAP. **Construction and Building Materials**, 35, 125-130. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.02.095
- Van der Poel, C. (1954). A general system describing the visco-elastic properties of bitumens and it's relation to routine test data. **J. Appl.Chem.**, 4, 221–236.

Zhao, S., Huang, B., Shu, X., & Woods, M. (2013). Comparative evaluation of warm mix asphalt containing high percentages of reclaimed asphalt pavement. **Construction and Building Materials**, 44, 92-100. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.010

Zhao S, Huang B, Shu X, Jia X, Woods M.(2013) Laboratory performance evaluation of Warm mix asphalt containing high percentages of RAP. **Transport Res Record: J Transport Res Board, National Academies**, Washington (DC) 2012; 2294:98–105.





ภาคผนวก ก.

ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตาราง ก.1ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

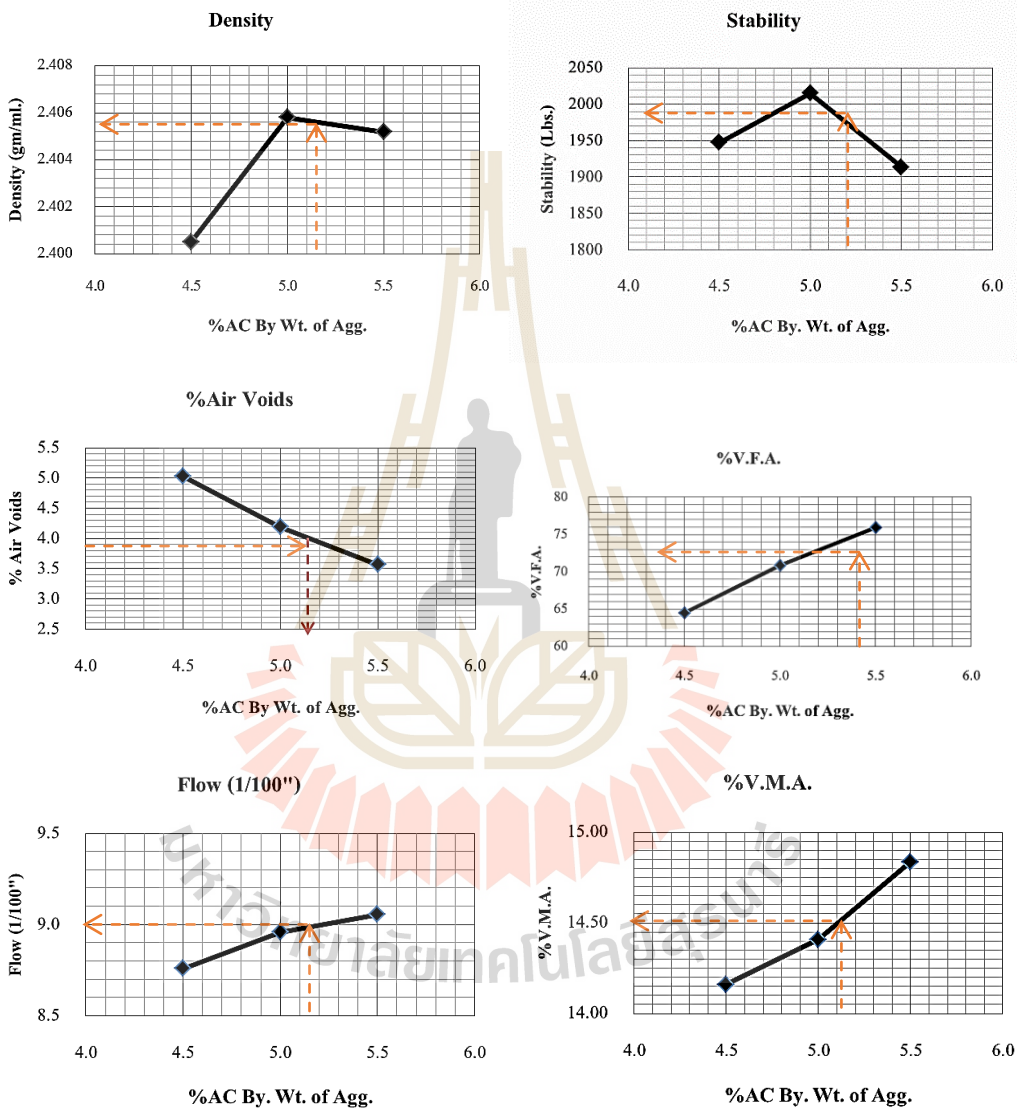
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.61			101.84			101.49	
H		65.72			67.12			64.62	
Average Bulk volume		514.18			514.65			516.29	
Average Density		2.400			2.406			2.405	
Average Vol AC,%total		9.131			10.215			11.267	
Average Vol Agg,%total		85.81			85.59			85.163	
Average VMA,%		14.19			14.41			14.84	
Average Air Void,%		5.06			4.19			3.57	
Average VFB,%		64.35			70.89			75.94	
Average Stability,lb		1947			2015			1913	
Average Flow,(1/100")		9			9			9	



รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.2ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.6			101.62			101.63	
H		65.11			63.99			64.97	
Average Bulk volume		518.14			516.52			516.03	
Average Density		2.403			2.410			2.398	
Average Vol AC,%total		9.1			10.2			11.2	
Average Vol Agg,%total		85.9			85.7			84.9	
Average VMA,%		14.05			14.25			15.08	
Average Air Void,%		4.9			4			3.8	
Average VFB,%		65.1			71.8			74.5	
Average Stability,lb		2103			2205			2193	
Average Flow,(1/100")		12			13			14	

ตาราง ก.3ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

170 องศาเซลเซียส

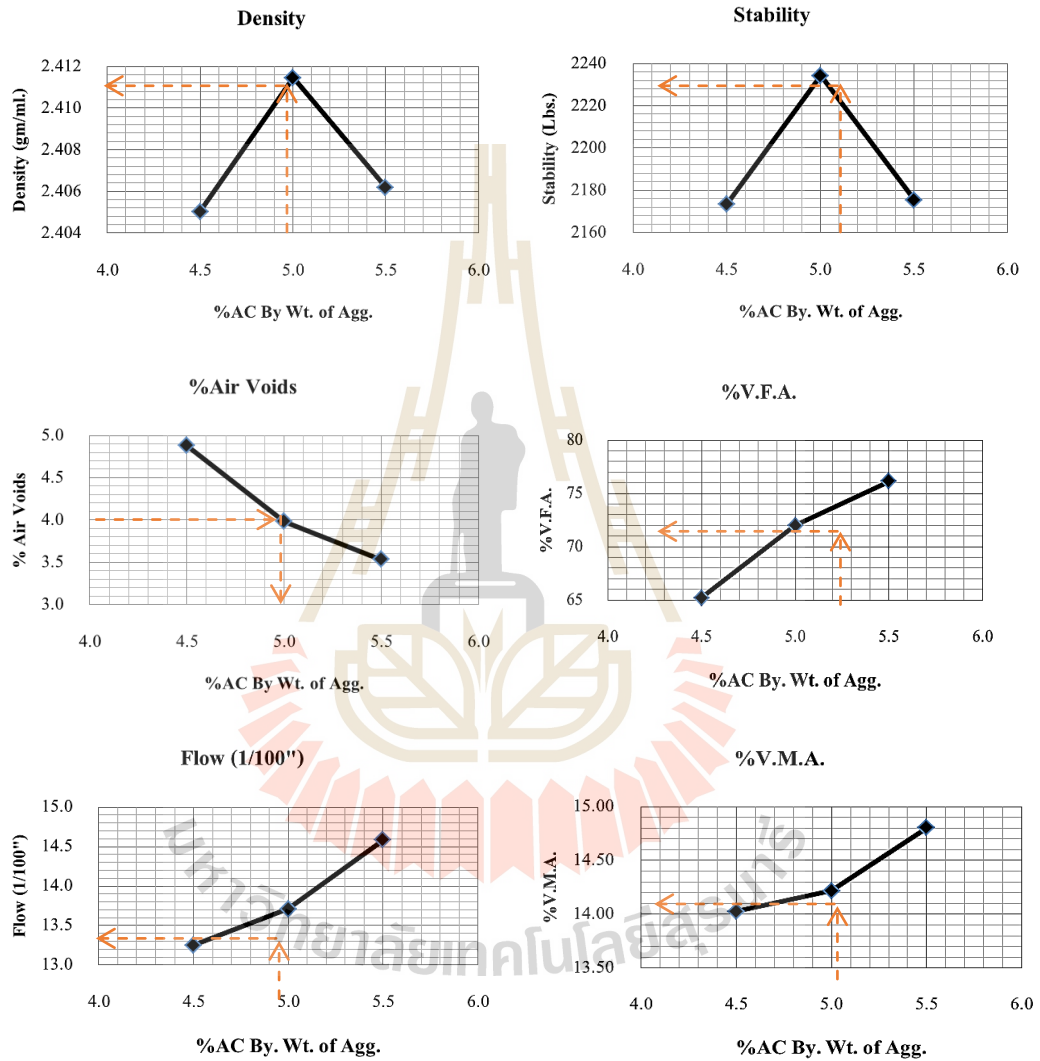
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.43			101.39			101.43	
H		64.54			64.61			64.55	
Average Bulk volume		515.23			516.56			511.94	
Average Density		2.405			2.411			2.406	
Average Vol AC,%total		9.1			10.2			11.3	
Average Vol Agg,%total		86			85.8			85.2	
Average VMA,%		14			14.2			14.8	
Average Air Void,%		4.9			4			3.5	
Average VFB,%		65.2			72			76.1	
Average Stability,lb		2173			2234			2175	
Average Flow,(1/100")		13			14			15	



รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.4 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

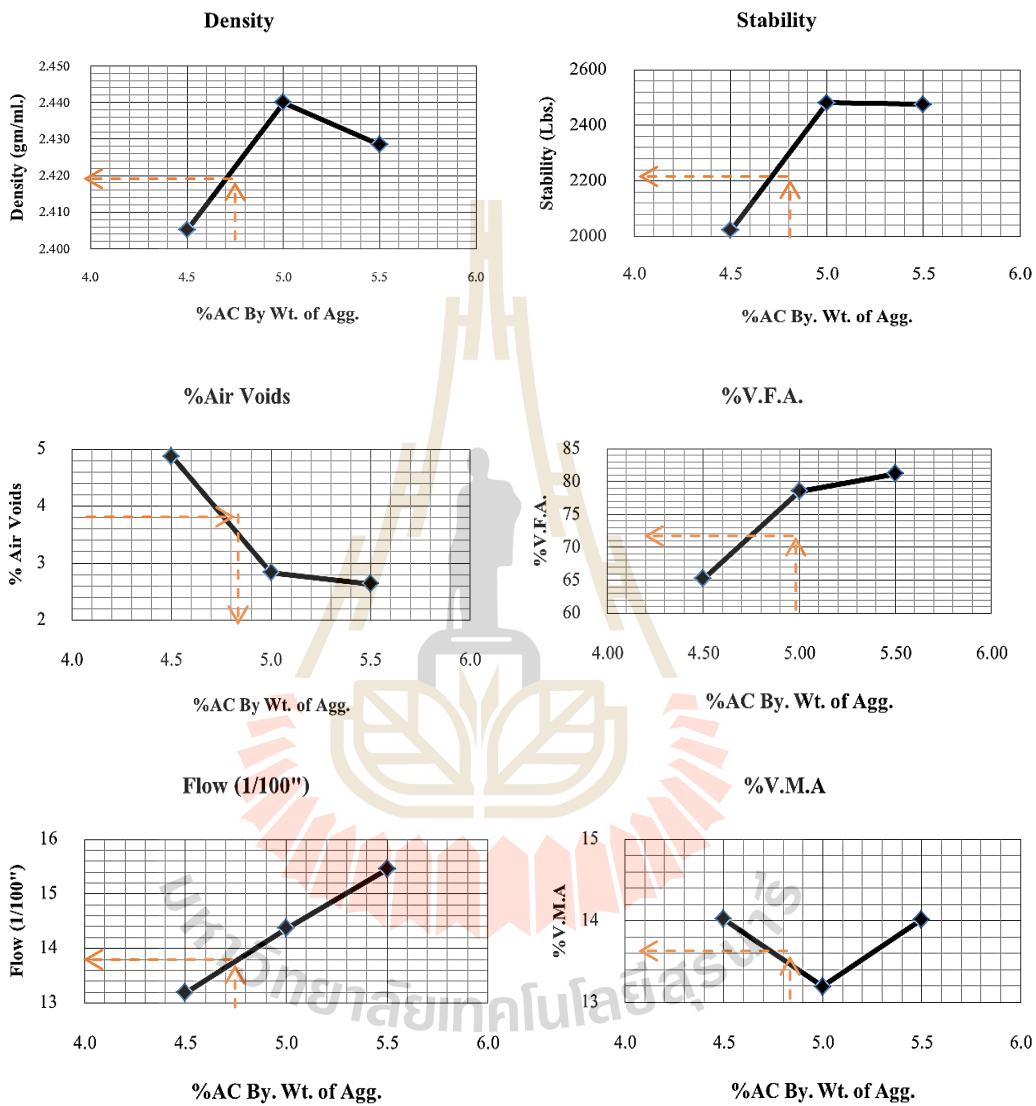
% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.74			101.63			101.6	
H		64.8			64.4			64.76	
Average Bulk volume		513.09			506.6			516.08	
Average Density		2.405			2.440			2.428	
Average Vol AC,%total		513.09			506.6			516.08	
Average Vol Agg,%total		9.1			10.4			11.38	
Average VMA,%		86			86.8			85.98	
Average Air Void,%		4.9			2.8			2.64	
Average VFB,%		14			13.2			14.02	
Average Stability,lb		2022			2481			2475	
Average Flow,(l/100")		13			14			15	





รูปที่ ก.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

ตาราง ก.5 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

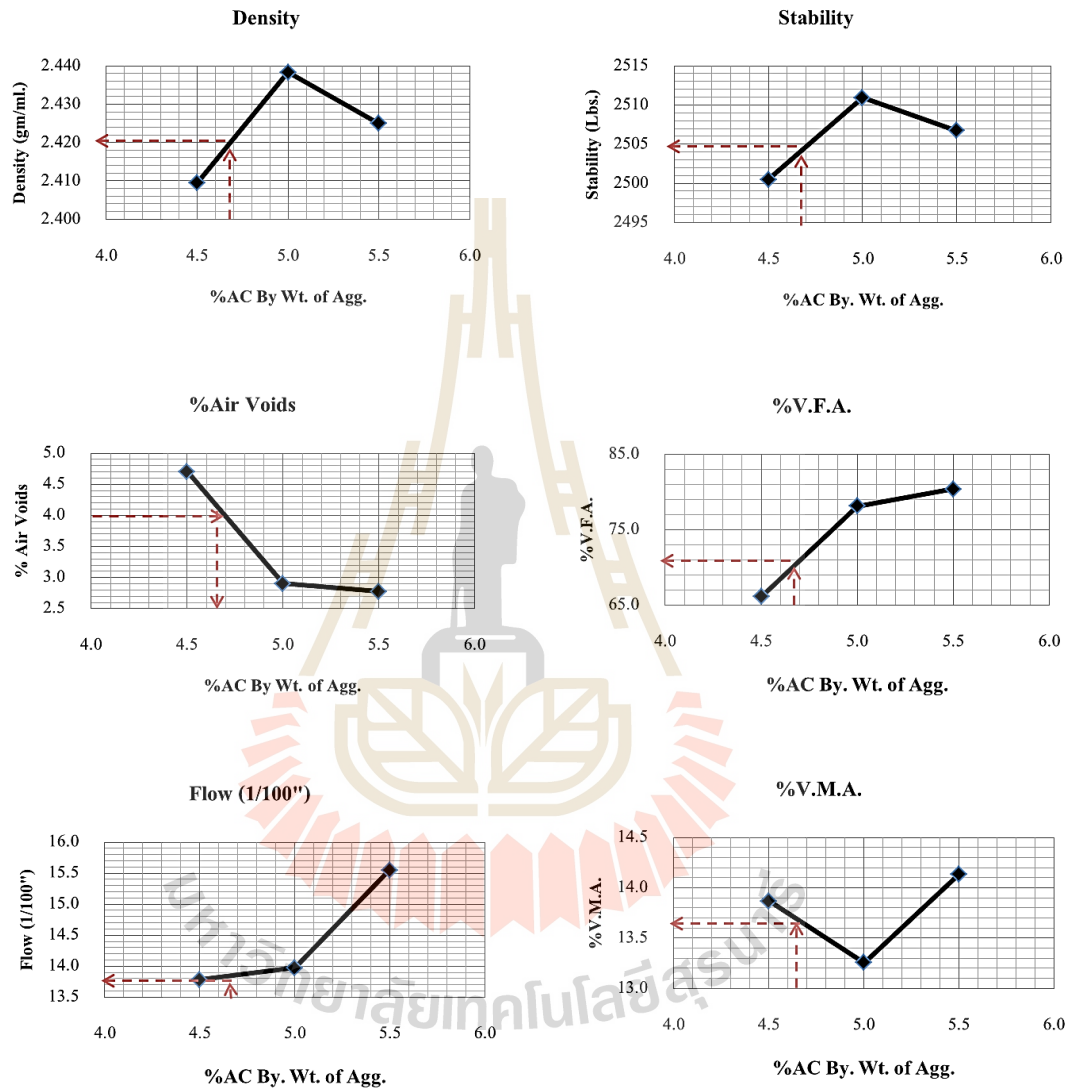
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.82			101.82			101.58		
H	64.38			63.75			64.32		
Average Bulk volume	512.25			507.91			509.39		
Average Density	2.410			2.438			2.425		
Average Vol AC,%total	9.17			10.4			11.36		
Average Vol Agg,%total	86.13			86.7			85.86		
Average VMA,%	13.87			13.3			14.14		
Average Air Void,%	4.7			2.9			2.78		
Average VFB,%	66.09			78.1			80.36		
Average Stability,lb	2501			2511			2507		
Average Flow,(l/100")	14			14			16		





รูปที่ ก.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่างๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อุณหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

ตาราง ก.6 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

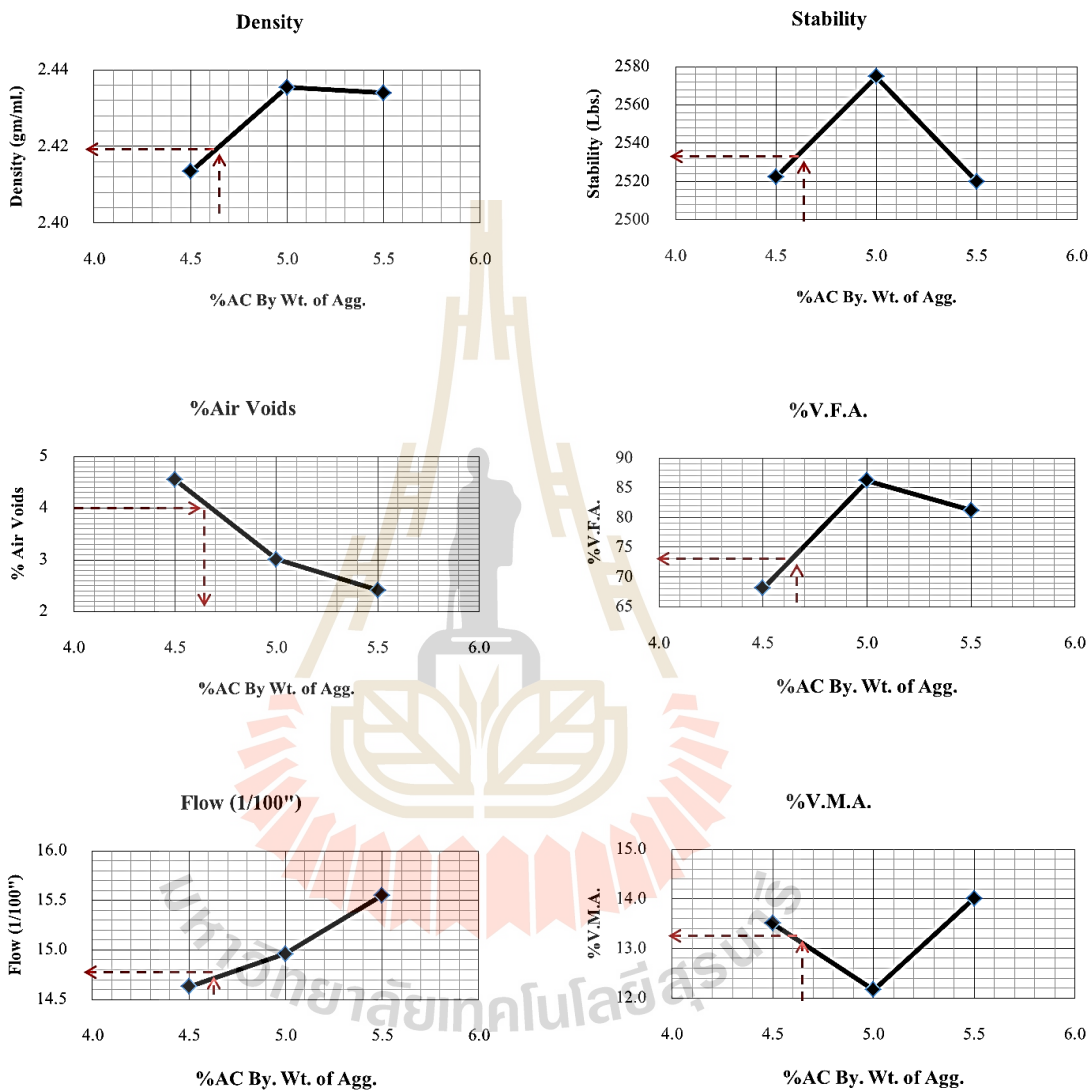
% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.69			101.76			101.54		
H	63.88			64.09			64.87		
Average Bulk volume	509.81			510.79			512.82		
Average Density	2.420			2.427			2.416		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.5			86.3			85.5		
Average VMA,%	13.5			13.7			14.5		
Average Air Void,%	4.3			3.4			3.1		
Average VFB,%	68.2			75.4			78.3		
Average Stability,lb	2610			2639			2520		
Average Flow,(l/100")	15			15			16		





รูปที่ ก.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่างๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส

ตาราง ก.7 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

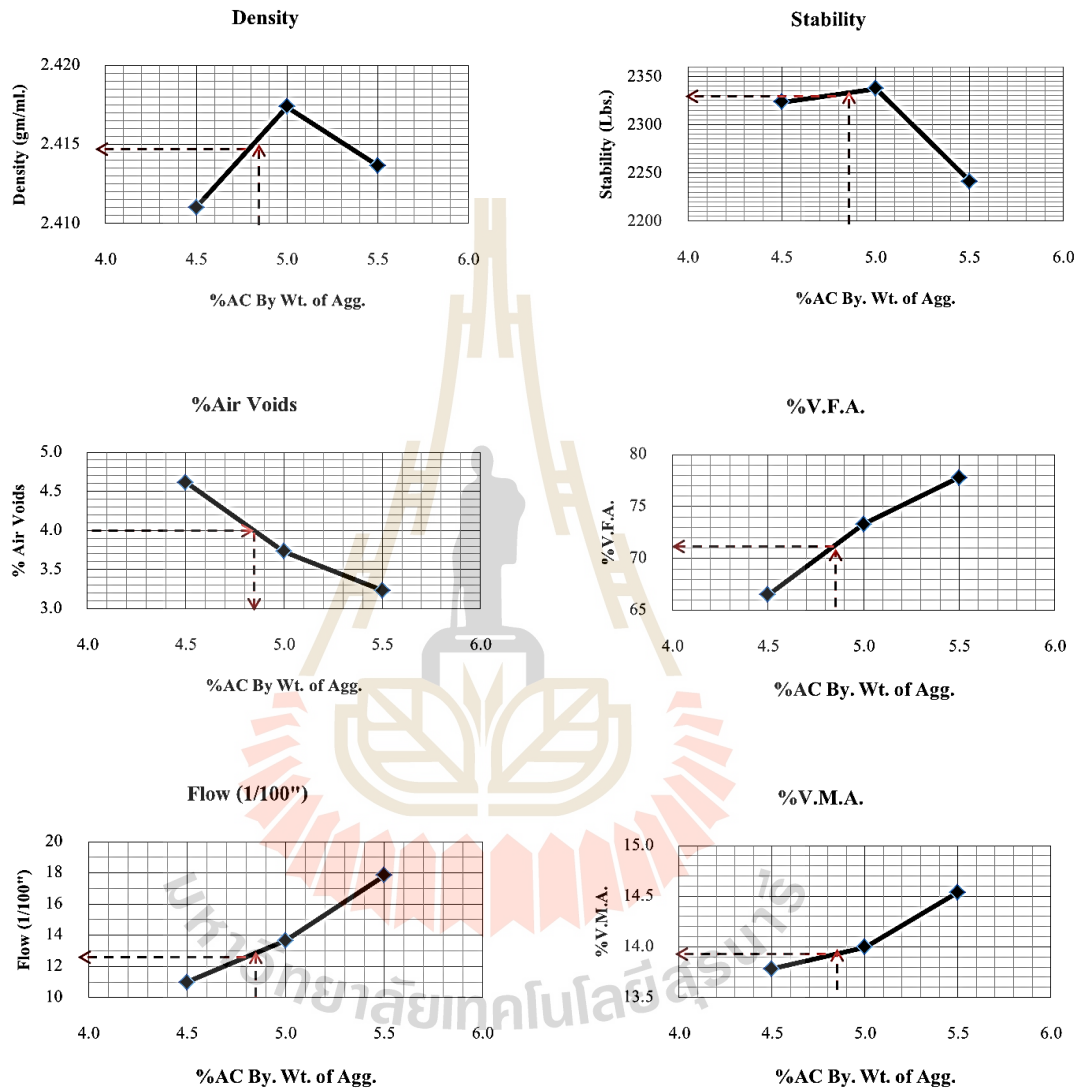
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.91			101.64			101.57		
H	64.03			63.30			63.69		
Average Bulk volume	509.51			513.47			510.81		
Average Density	2.411			2.417			2.414		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.2			86			85.5		
Average VMA,%	13.8			14			14.5		
Average Air Void,%	4.6			3.7			3.2		
Average VFB,%	66.5			73.3			77.8		
Average Stability,lb	2324			2338			2241		
Average Flow,(l/100")	11			14			18		





รูปที่ ก.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.8 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

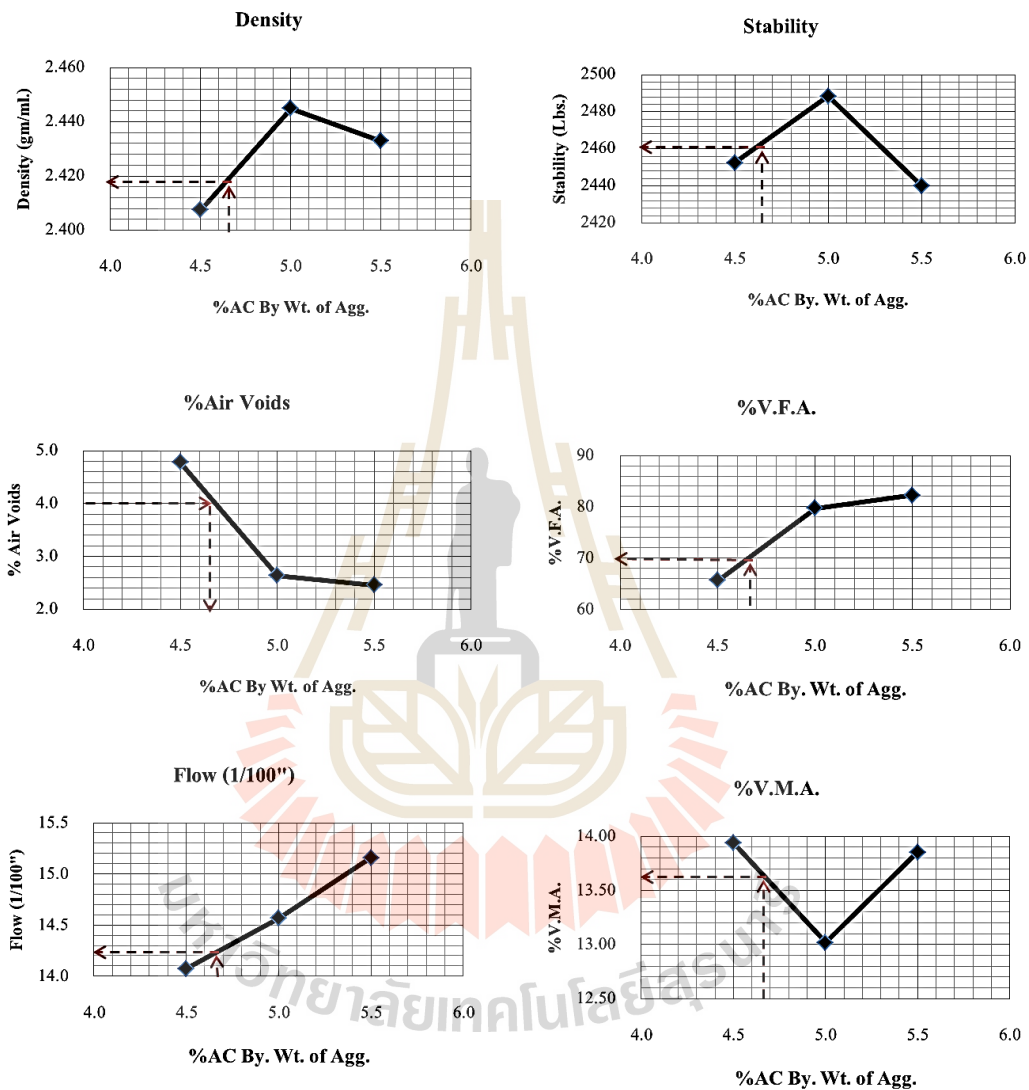
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	102.34			101.86			101.71		
H	63.60			63.19			63.55		
Average Bulk volume	509.11			497.77			505.33		
Average Density	2.408			2.445			2.433		
Average Vol AC,%total	9.2			10.4			11.4		
Average Vol Agg,%total	86.1			87			86.1		
Average VMA,%	13.9			13			13.9		
Average Air Void,%	4.8			2.6			2.5		
Average VFB,%	65.7			79.8			82.3		
Average Stability,lb	2453			2488			2440		
Average Flow,(l/100")	14			15			15		





รูปที่ ก.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.9 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

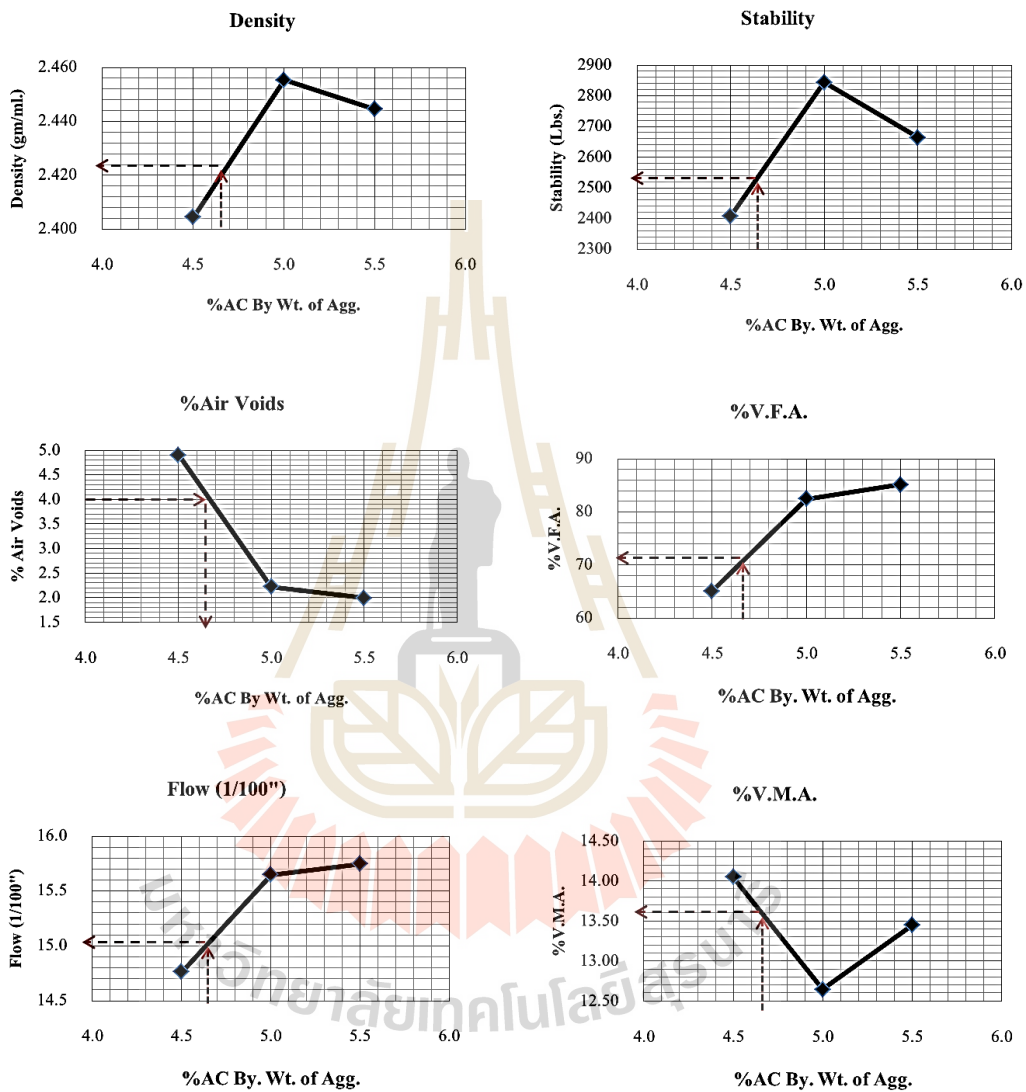
% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.66			101.53			101.6	
H		63.47			62.96			63.07	
Average Bulk volume		510.16			497.61			500.44	
Average Density		2.405			2.455			2.444	
Average Vol AC,%total		9.1			10.4			11.5	
Average Vol Agg,%total		86.1			87.4			86.6	
Average VMA,%		14			12.6			13.4	
Average Air Void,%		4.9			2.2			2	
Average VFB,%		65.1			82.4			85.2	
Average Stability,lb		2408			2844			2664	
Average Flow,(l/100")		15			16			16	





รูปที่ ก.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่างๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.10 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

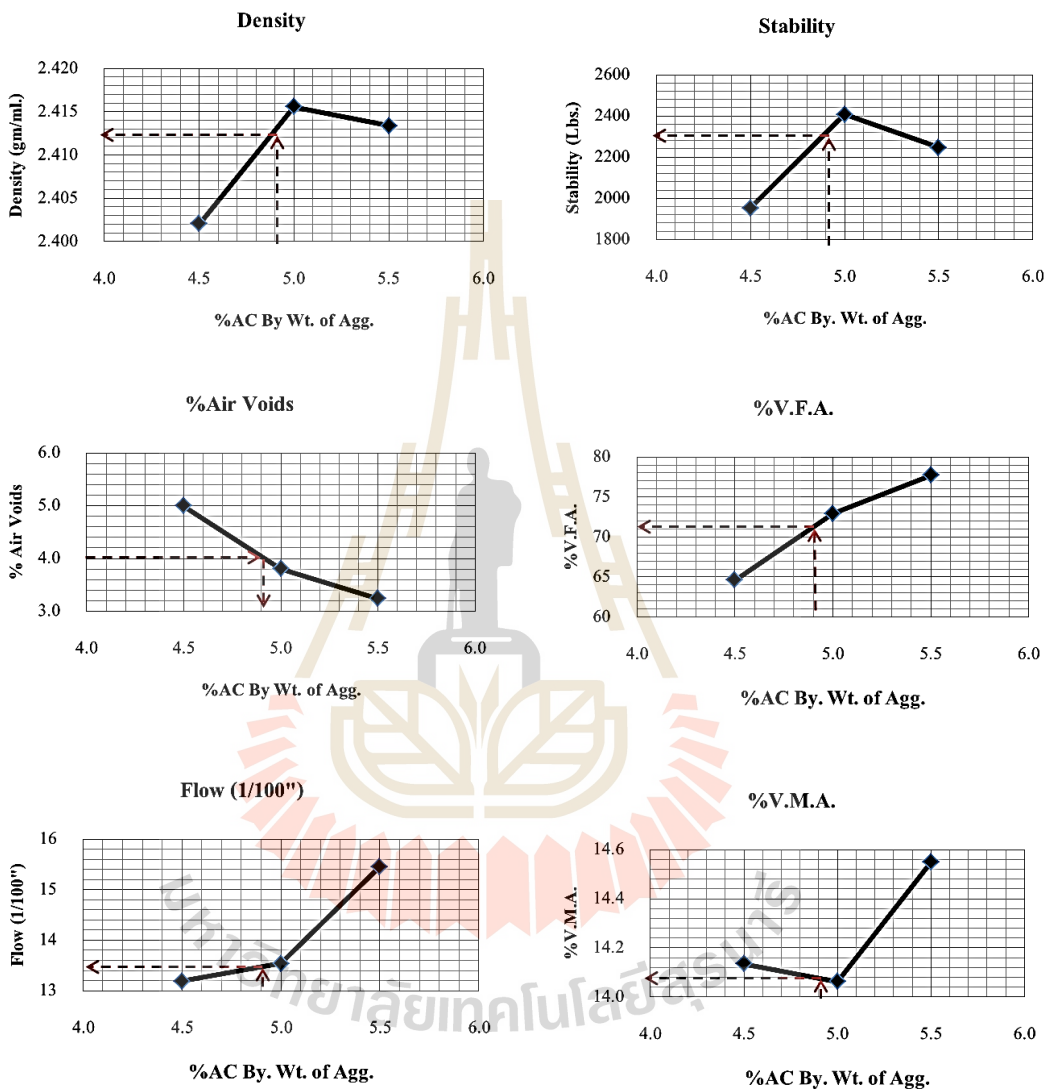
อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.4			101.45			101.73	
H		63.62			64.55			64.59	
Average Bulk volume		511.04			508.85			507.88	
Average Density		2.402			2.416			2.413	
Average Vol AC,%total		9.1			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.1			85.9			85.5	
Average VMA,%		14.1			14.1			14.5	
Average Air Void,%		5			3.8			3.2	
Average VFB,%		64.6			72.9			77.7	
Average Stability,lb		1954			2408			2246	
Average Flow,(l/100")		13			14			15	



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อัตราส่วนวัสดุ : 50:50
 อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส

ตาราง ก.11 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

150 องศาเซลเซียส

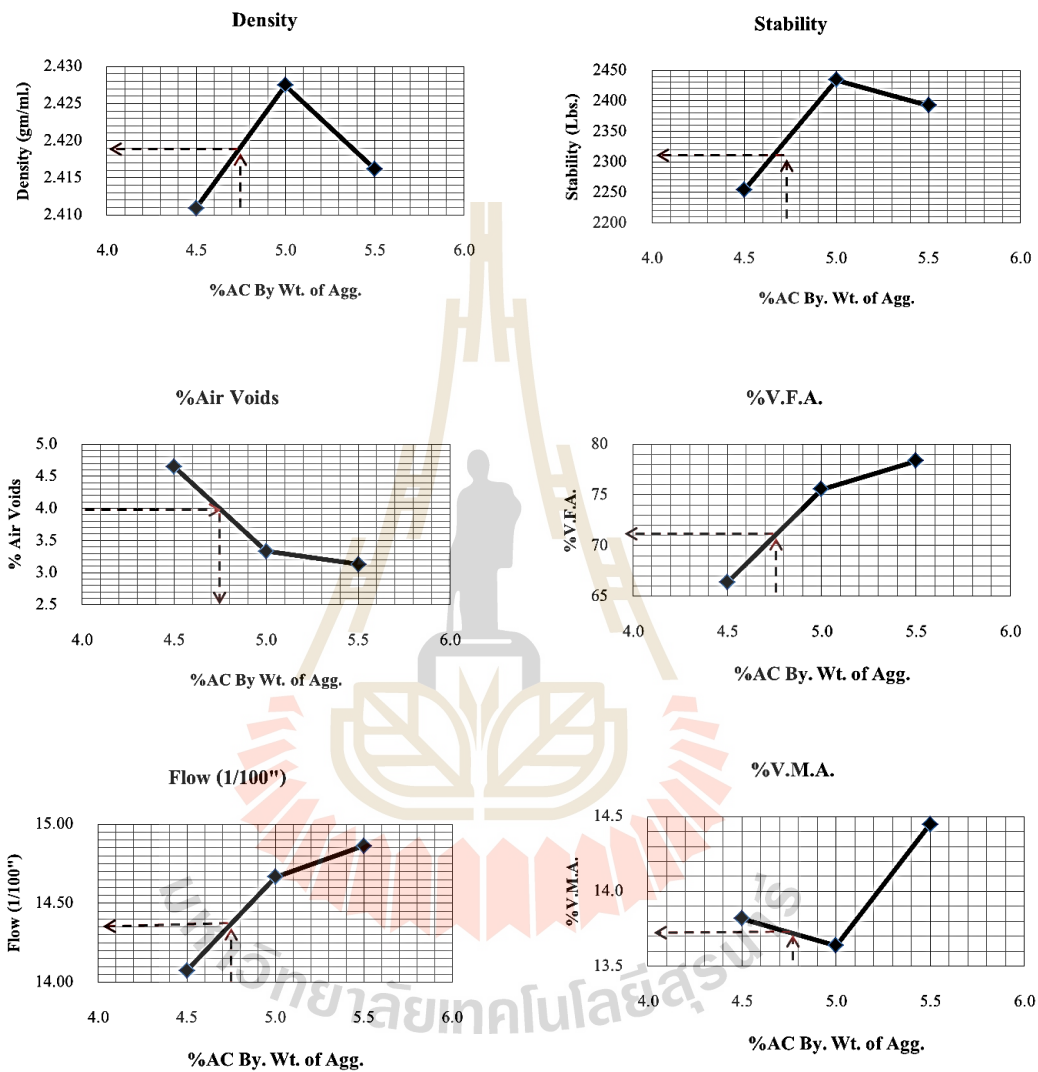
อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.84			101.83			102.03	
H		64.69			63.66			63.80	
Average Bulk volume		507.54			505.07			507.71	
Average Density		2.411			2.427			2.416	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.1			86.4			85.6	
Average VMA,%		13.8			13.6			14.4	
Average Air Void,%		4.6			3.3			3.1	
Average VFB,%		66.4			75.6			78.3	
Average Stability,lb		2254			2434			2392	
Average Flow,(l/100")		14			15			15	



รูปที่ ก.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

ตาราง ก.12 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

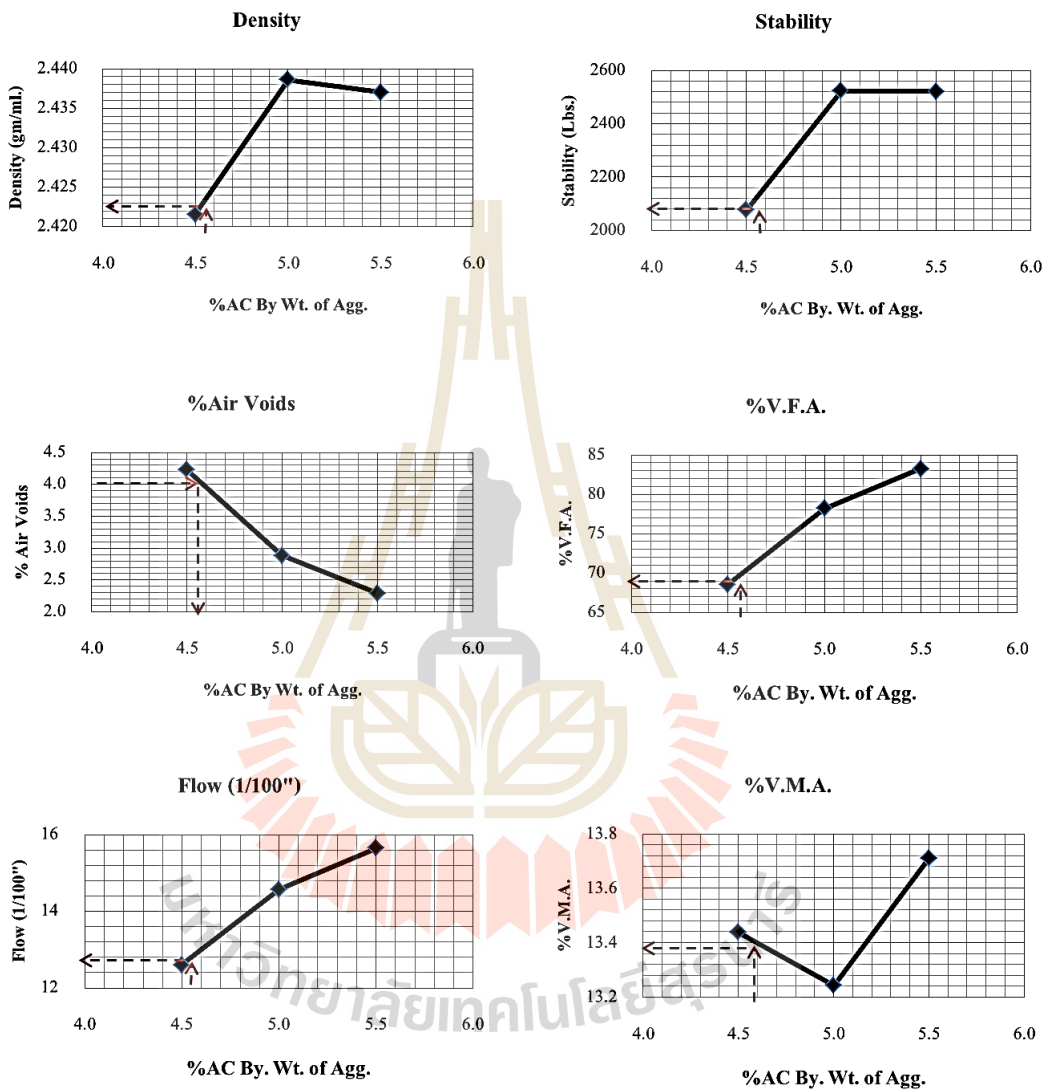
% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.74			101.45			101.63	
H		64.5			64.46			64.72	
Average Bulk volume		506.93			503.56			507.90	
Average Density		2.422			2.439			2.437	
Average Vol AC,%total		9.2			10.4			11.4	
Average Vol Agg,%total		86.6			86.8			86.3	
Average VMA,%		13.4			13.2			13.7	
Average Air Void,%		4.2			2.9			2.3	
Average VFB,%		68.5			78.2			83.3	
Average Stability,lb		2077			2523			2522	
Average Flow,(l/100")		13			15			16	





รูปที่ ก.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

ตาราง ก.13 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

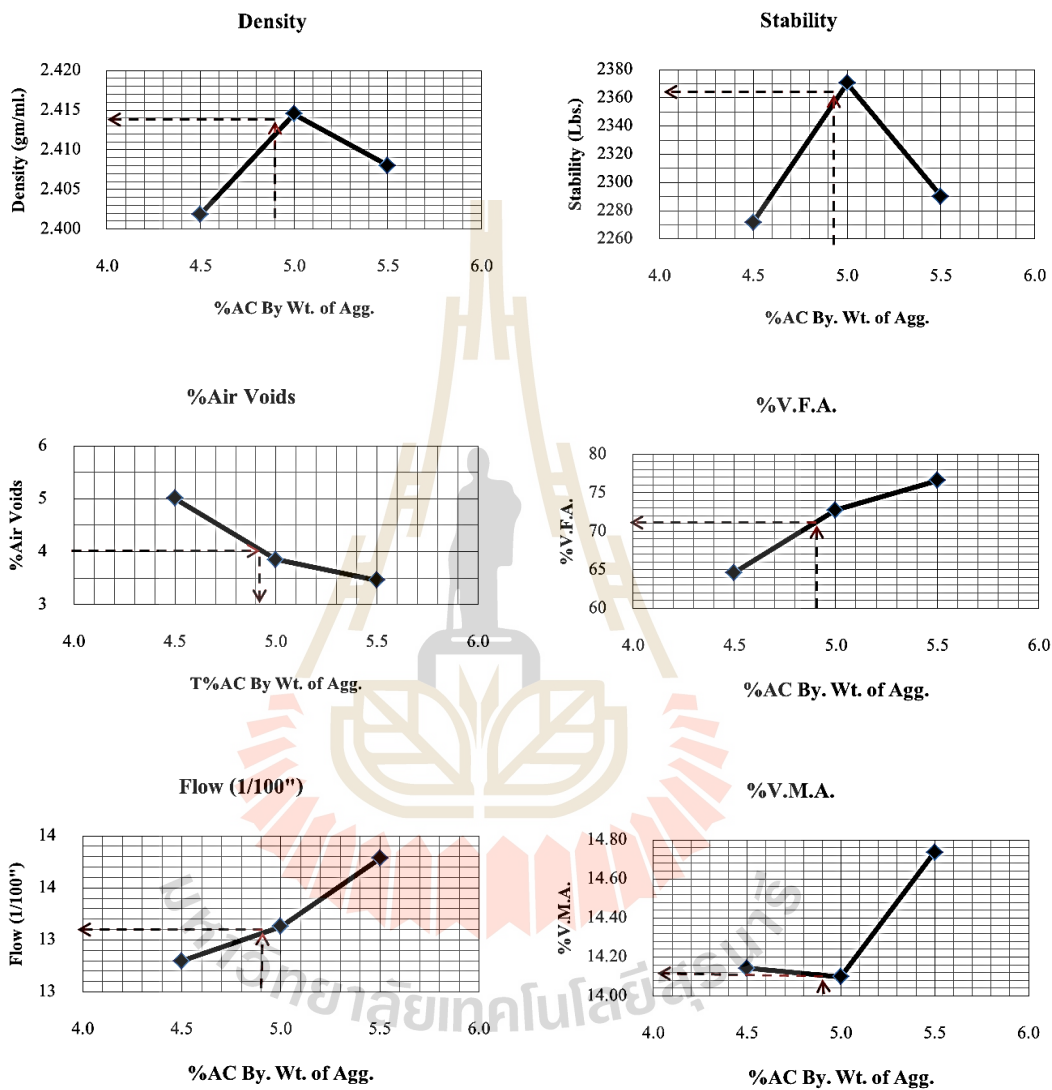
% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.55			101.59			101.66	
H		65.98			65.41			65.39	
Average Bulk volume		517.51			512.51			515.90	
Average Density		2.402			2.415			2.408	
Average Vol AC,%total		9.1			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		85.9			85.9			85.3	
Average VMA,%		14.1			14.1			14.7	
Average Air Void,%		5.0			3.8			3.5	
Average VFB,%		64.6			72.7			76.5	
Average Stability,lb		2272			2370			2290	
Average Flow,(l/100")		13			13			14	





รูปที่ ก.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.14 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

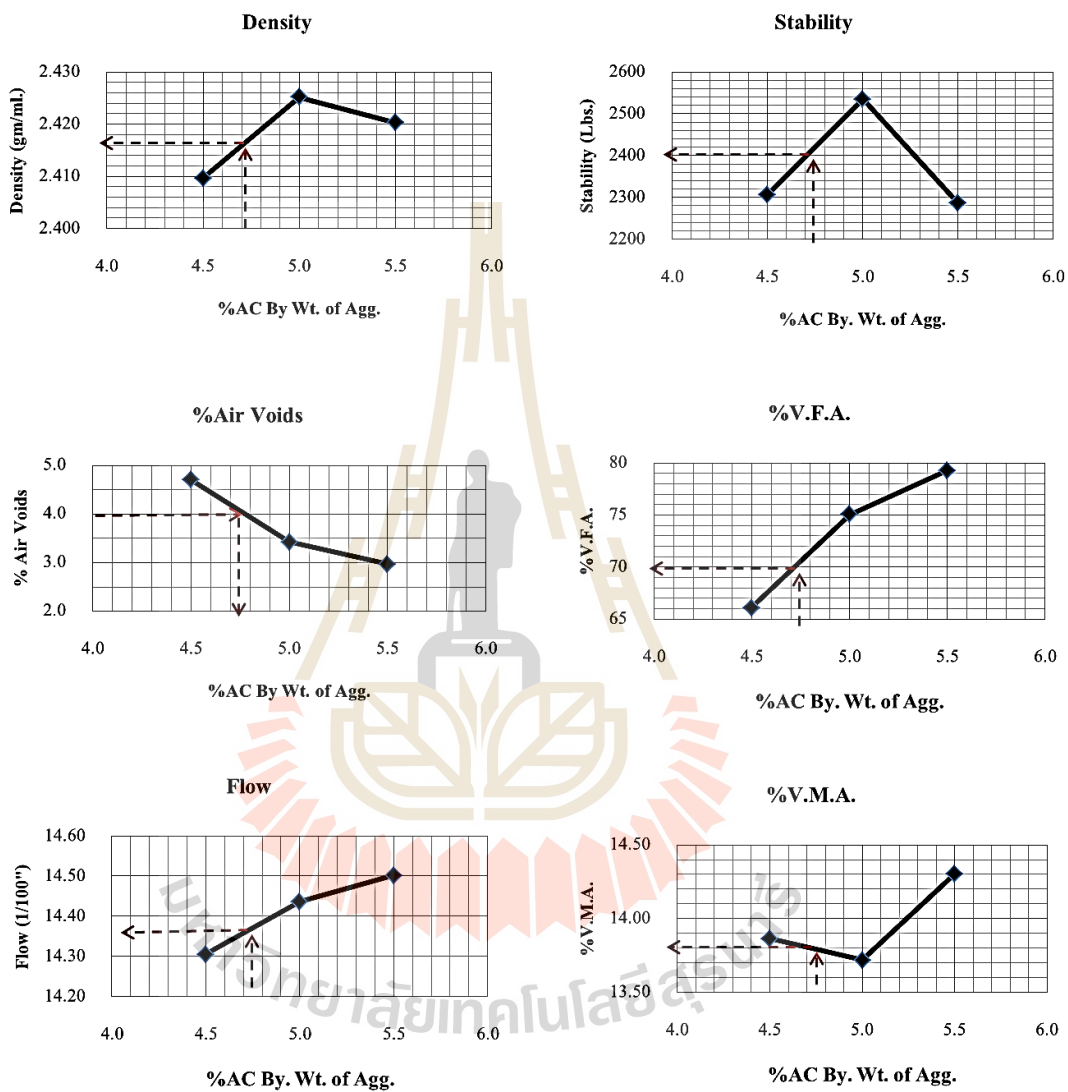
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.51			101.55			101.67		
H	65.16			65.05			65.41		
Average Bulk volume	514.64			511.70			511.92		
Average Density	2.410			2.425			2.420		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.1			86.3			85.7		
Average VMA,%	13.9			13.7			14.3		
Average Air Void,%	4.7			3.4			3.0		
Average VFB,%	66.1			75.1			79.3		
Average Stability,lb	2306			2534			2286		
Average Flow,(1/100")	14			14			15		



รูปที่ ก.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.15 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

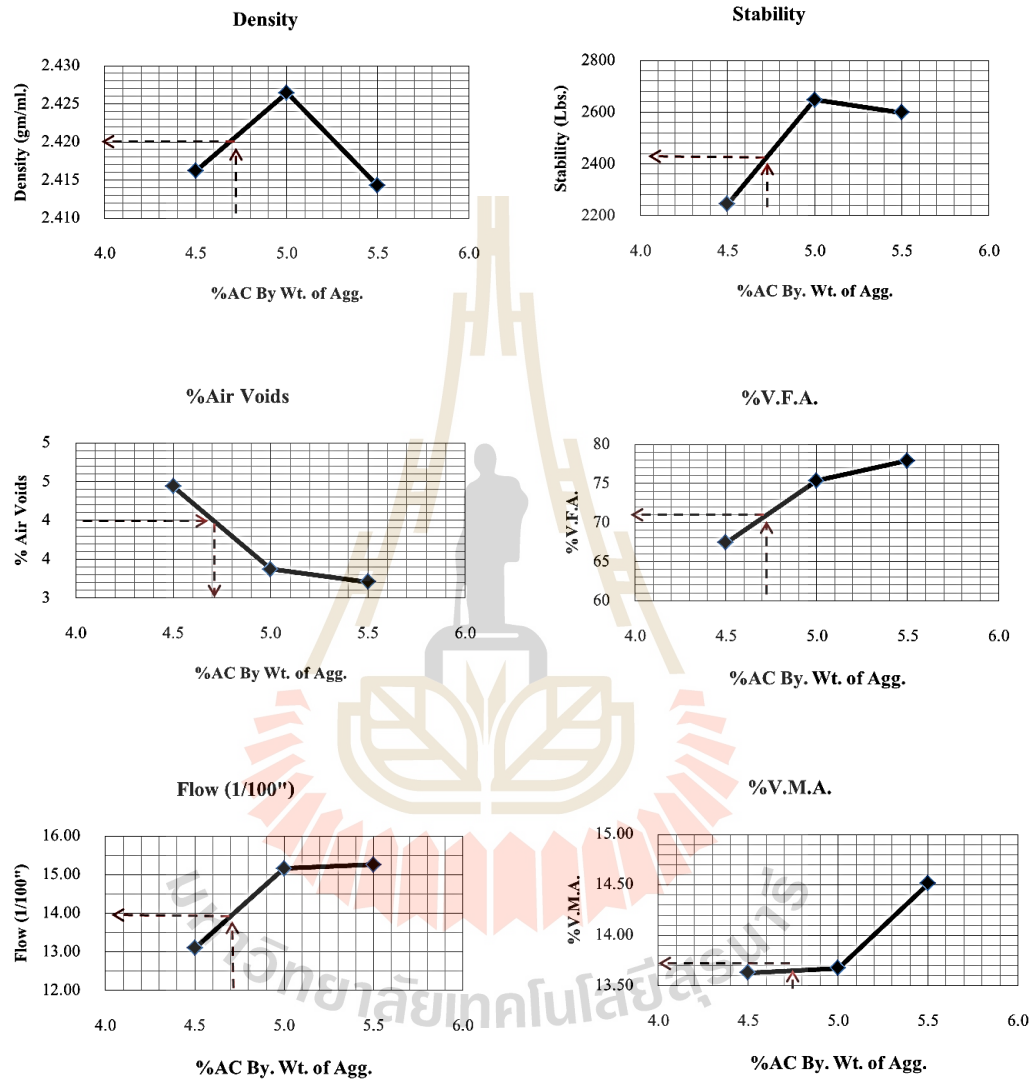
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.76			101.78			101.54		
H	65.47			64.94			64.27		
Average Bulk volume	514.11			508.48			515.06		
Average Density	2.416			2.426			2.414		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.4			86.3			85.5		
Average VMA,%	13.6			13.7			14.5		
Average Air Void,%	4.4			3.4			3.2		
Average VFB,%	67.4			75.3			77.9		
Average Stability,lb	2244			2648			2678		
Average Flow,(1/100")	13			15			15		



รูปที่ ก.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์
 อัตราร่วนวัสดุ : 0:100

อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส

ตาราง ก.16 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

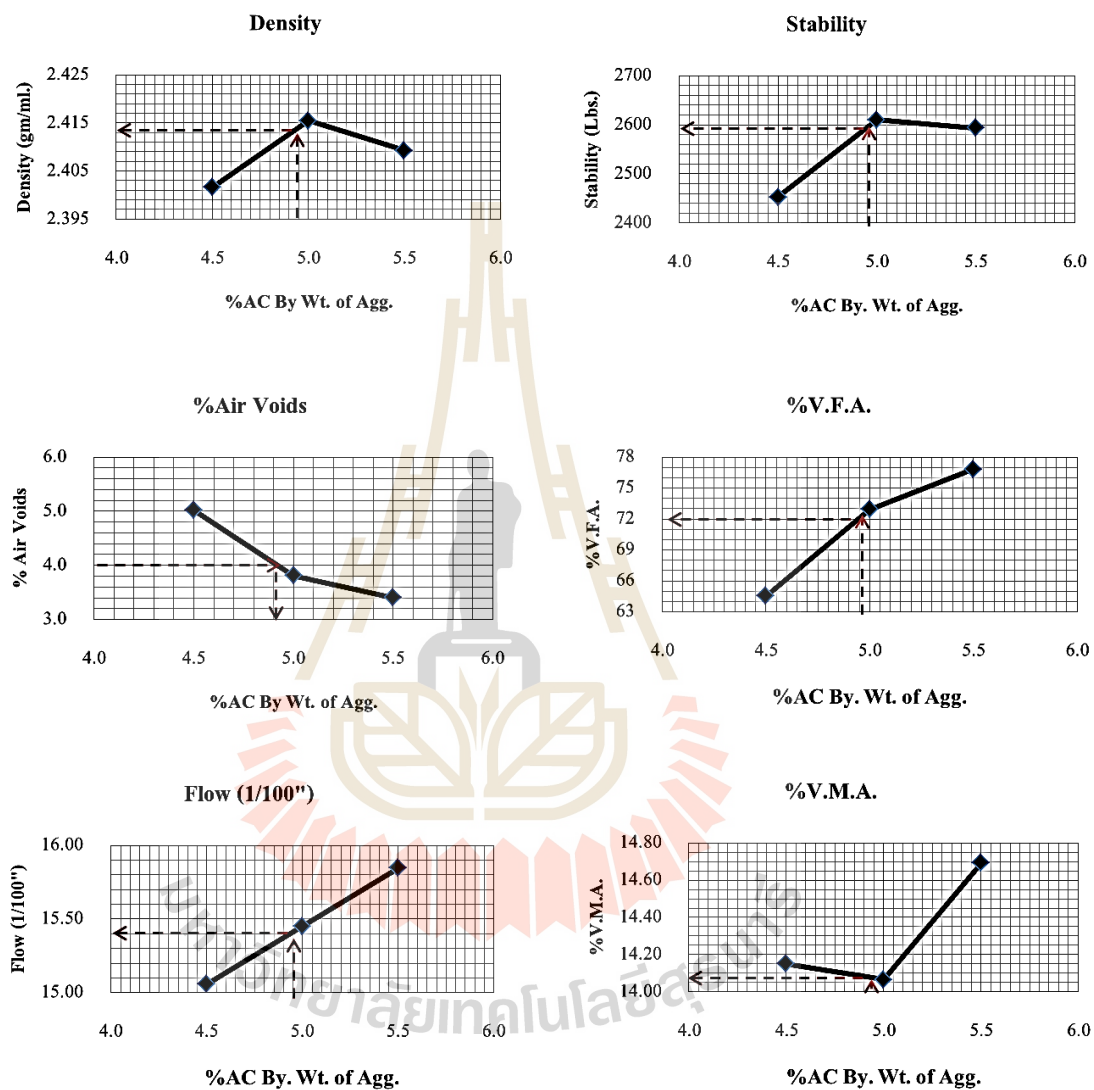
อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.73			101.43			101.40	
H		64.69			64.20			63.95	
Average Bulk volume		515.71			513.96			514.81	
Average Density		2.402			2.415			2.409	
Average Vol AC,%total		9.1			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		85.8			85.9			85.3	
Average VMA,%		14.2			14.1			14.7	
Average Air Void,%		5.0			3.8			3.4	
Average VFB,%		64.6			72.9			76.8	
Average Stability,lb		2453			2610			2594	
Average Flow,(l/100")		15			15			16	



รูปที่ ก.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

ตาราง ก.17 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.59			101.8			102.02	
H		64.32			63.85			64.18	
Average Bulk volume		512.98			512.74			515.07	
Average Density		2.412			2.423			2.416	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.2			86.2			85.6	
Average VMA,%		13.8			13.8			14.4	
Average Air Void,%		4.6			3.5			3.1	
Average VFB,%		66.7			3.5			3.1	
Average Stability,lb		2331			2674			2533	
Average Flow,(l/100")		15			15			16	

ตาราง ก.18 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.39			101.45			101.67		
H	63.45			63.75			62.85		
Average Bulk volume	511.11			506.33			506.08		
Average Density	2.409			2.434			2.431		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.4		
Average Vol Agg,%total	86.1			86.6			86.1		
Average VMA,%	13.9			13.4			13.9		
Average Air Void,%	4.7			3.1			2.5		
Average VFB,%	66			77.1			81.8		
Average Stability,lb	2346			2557			2533		
Average Flow,(l/100")	14			15			16		



ตาราง ก.19 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

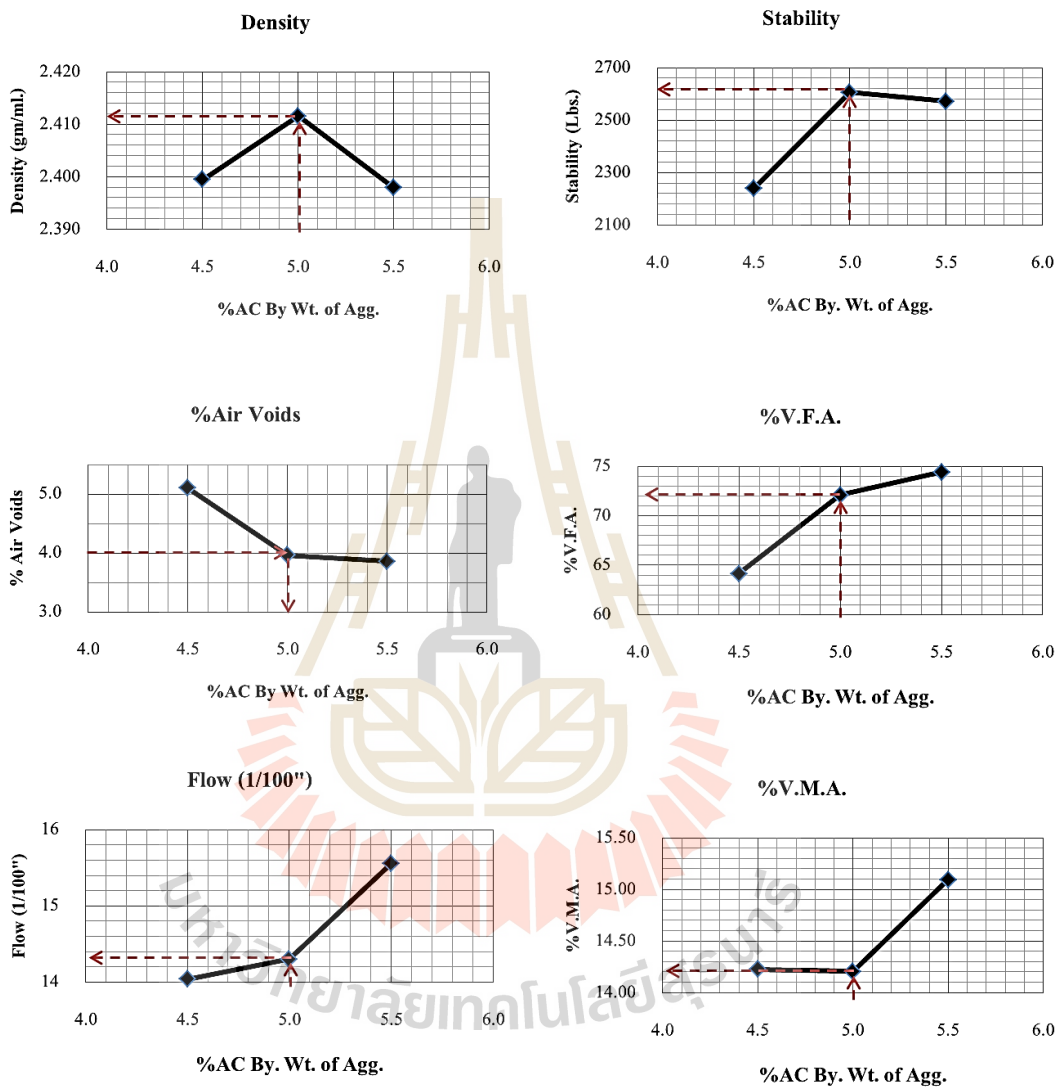
อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.62			101.50			101.52	
H		63.13			63.80			63.45	
Average Bulk volume		511.35			510.64			510.17	
Average Density		2.399			2.412			2.398	
Average Vol AC,%total		9.1			10.2			11.2	
Average Vol Agg,%total		85.8			85.8			84.9	
Average VMA,%		14.2			14.2			15.1	
Average Air Void,%		5.1			4.0			3.9	
Average VFB,%		64.2			72.1			74.4	
Average Stability,lb		2239			2605			2571	
Average Flow,(l/100")		14			14			16	



รูปที่ ก.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.20 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.60			101.59			101.43	
H		63.40			63.07			63.38	
Average Bulk volume		512.00			511.47			511.72	
Average Density		2.405			2.414			2.413	
Average Vol AC,%total		9.1			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.0			85.9			85.4	
Average VMA,%		14.0			14.1			14.6	
Average Air Void,%		4.9			3.9			3.3	
Average VFB,%		65.1			72.7			77.6	
Average Stability,lb		1981			2474			2475	
Average Flow,(1/100")		13			15			15	

ตาราง ก.21 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

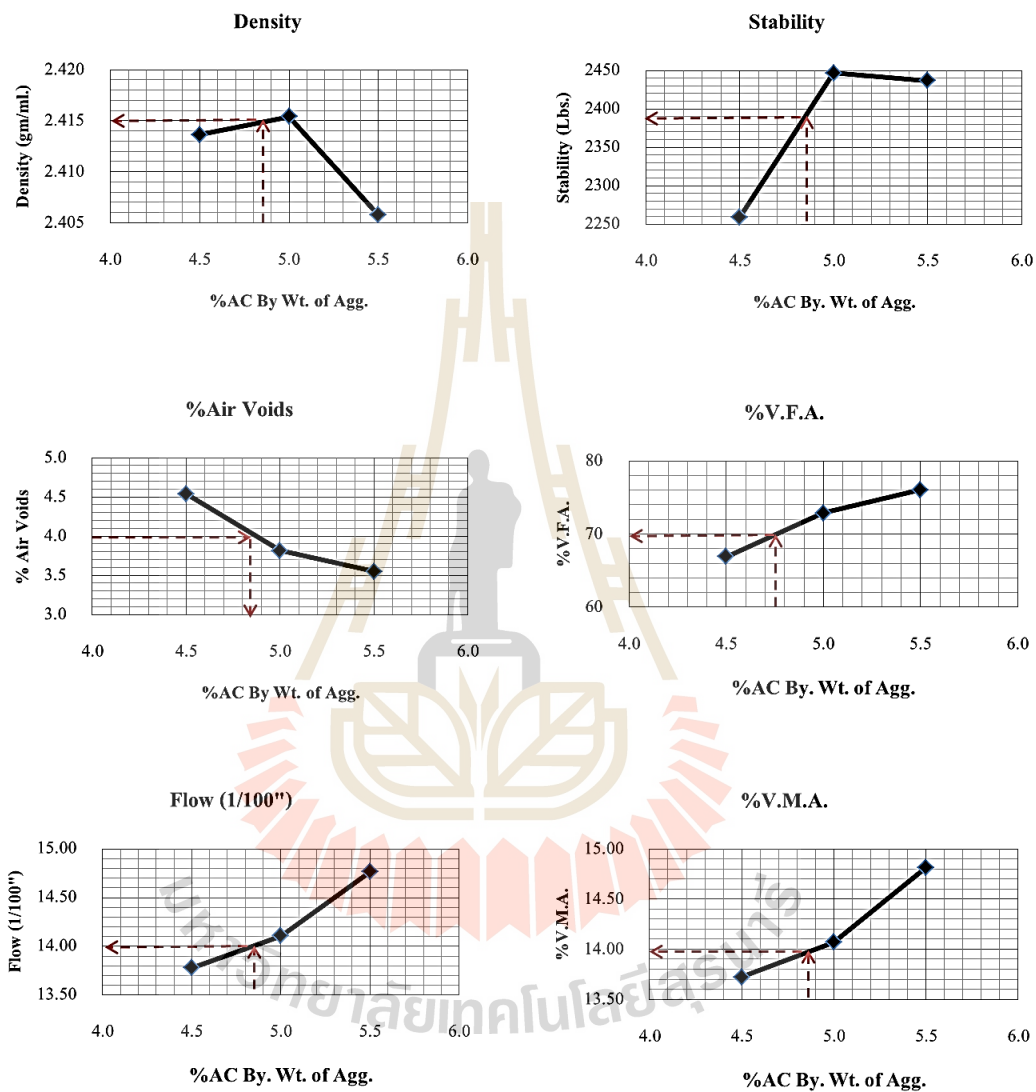
อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.69			101.81			101.57	
H		63.31			63.17			63.11	
Average Bulk volume		506.78			508.70			512.17	
Average Density		2.414			2.415			2.406	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.3			86			85.2	
Average VMA,%		13.7			14.1			14.8	
Average Air Void,%		4.5			3.8			3.5	
Average VFB,%		66.9			73			76.1	
Average Stability,lb		2259			2447			2437	
Average Flow,(l/100")		14			14			15	



รูปที่ ก.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.22 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.4			101.40			101.73	
H		63.62			64.22			64.59	
Average Bulk volume		510.81			507.54			509.63	
Average Density		2.403			2.414			2.403	
Average Vol AC,%total		9.1			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		85.9			85.9			85.1	
Average VMA,%		14.1			14.1			14.9	
Average Air Void,%		4.9			3.9			3.7	
Average VFB,%		64.9			72.6			75.5	
Average Stability,lb		2248			2505			2474	
Average Flow,(l/100")		14			14			15	

ตาราง ก.23 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.35			101.81			101.79	
H		63.65			64.04			63.43	
Average Bulk volume		509.38			506.85			509.50	
Average Density		2.411			2.422			2.421	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.2			86.2			85.7	
Average VMA,%		13.8			13.8			14.3	
Average Air Void,%		4.6			3.5			3	
Average VFB,%		66.5			74.4			79.3	
Average Stability,lb		2086			2408			2402	
Average Flow,(l/100")		13			14			15	



ตาราง ก.24 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.59			101.58			101.61	
H		63.23			63.41			63.63	
Average Bulk volume		507.57			502.79			503.15	
Average Density		2.415			2.447			2.433	
Average Vol AC,%total		9.2			10.4			11.4	
Average Vol Agg,%total		86.3			87.1			86.5	
Average VMA,%		13.7			12.9			13.5	
Average Air Void,%		4.5			2.5			2	
Average VFB,%		67.1			80.4			84.9	
Average Stability,lb		2046			2532			2344	
Average Flow,(l/100")		12			14			15	

ตาราง ก.25 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

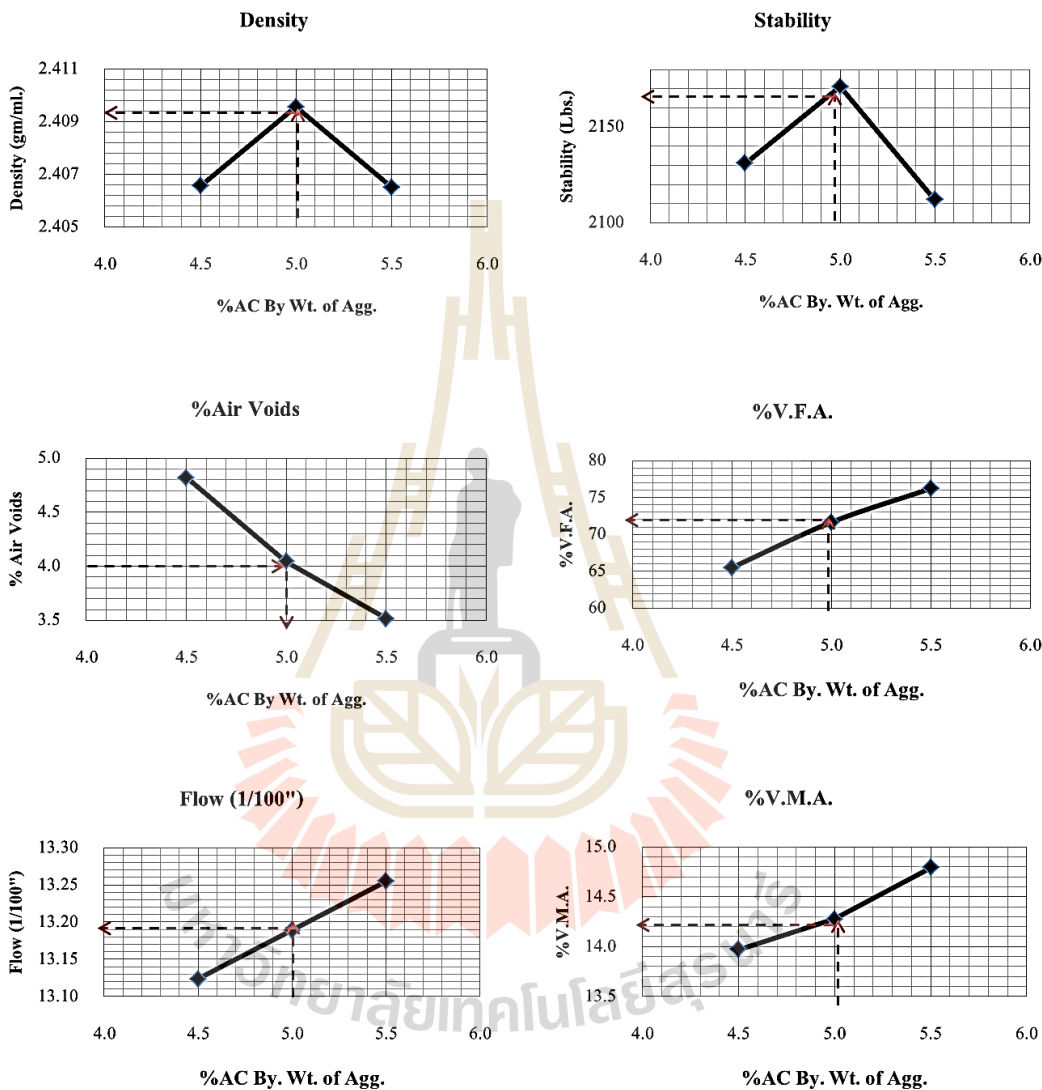
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.73			101.39			101.55	
H		65.9			65.12			64.74	
Average Bulk volume		518.04			517.38			510.37	
Average Density		2.407			2.410			2.407	
Average Vol AC,%total		9.2			10.2			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.0			85.7			85.2	
Average VMA,%		14			14.3			14.8	
Average Air Void,%		4.8			4			3.5	
Average VFB,%		65.5			71.8			76.2	
Average Stability,lb		2131			2171			2112	
Average Flow,(l/100")		13			13			13	



รูปที่ ก.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์ อุนหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.26 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

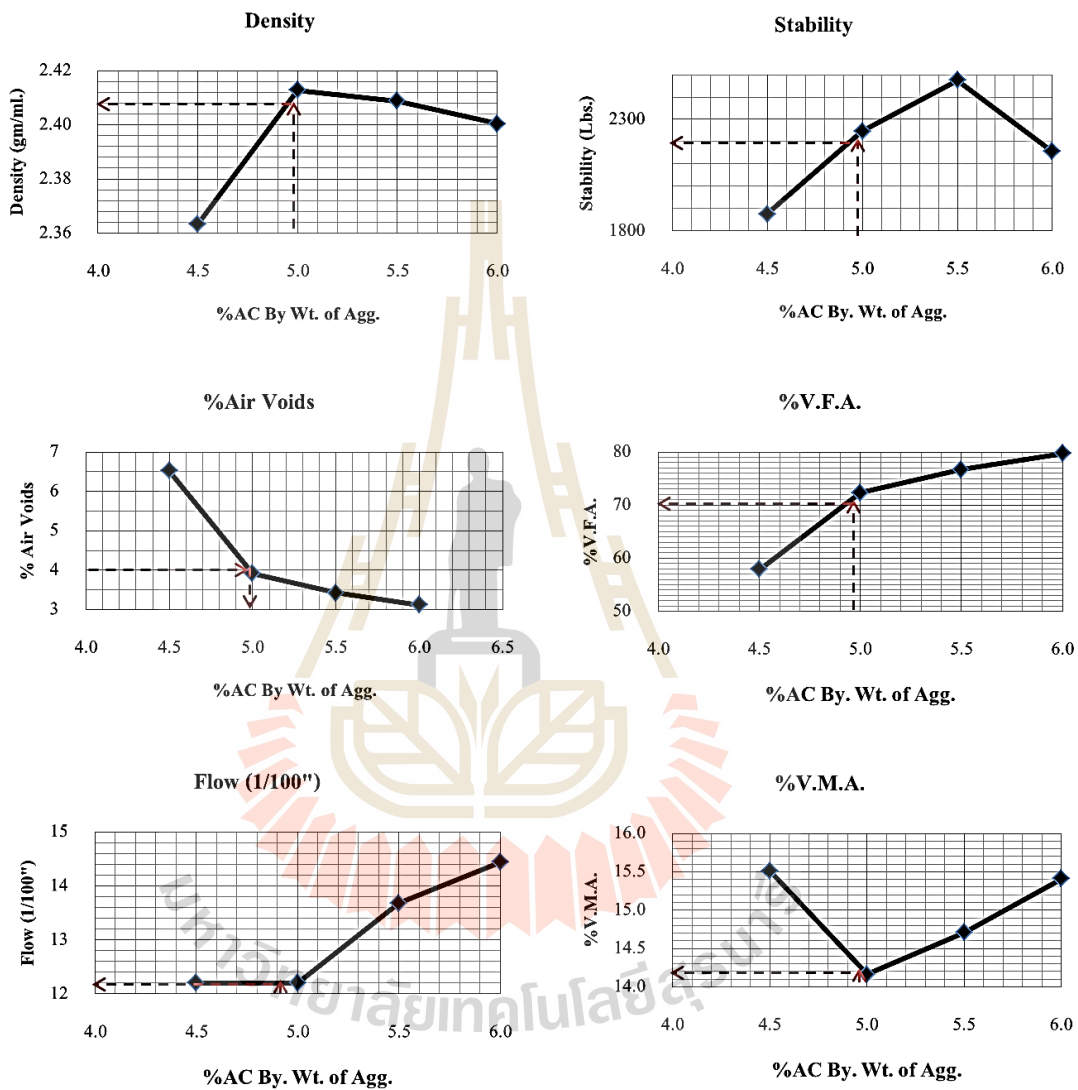
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5			6		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21			5.66		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84			5.29		
Spec. Hgt. D	101.52			101.83			101.61			101.67		
H	64.32			65.02			65.06			64.57		
Average Bulk volume	513.63			513.93			513.59			518.82		
Average Density	2.363			2.413			2.409			2.400		
Average Vol AC,%total	9.0			10.2			11.3			12.3		
Average Vol Agg,%total	84.5			85.8			85.3			84.6		
Average VMA,%	15.5			14.2			14.7			15.4		
Average Air Void,%	6.5			3.9			3.4			3.1		
Average VFB,%	57.9			72.3			76.7			79.7		
Average Stability,lb	1877			2247			2474			2157		
Average Flow,(1/100")	12			12			14			14		



รูปที่ ก.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลี อุนหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.27 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

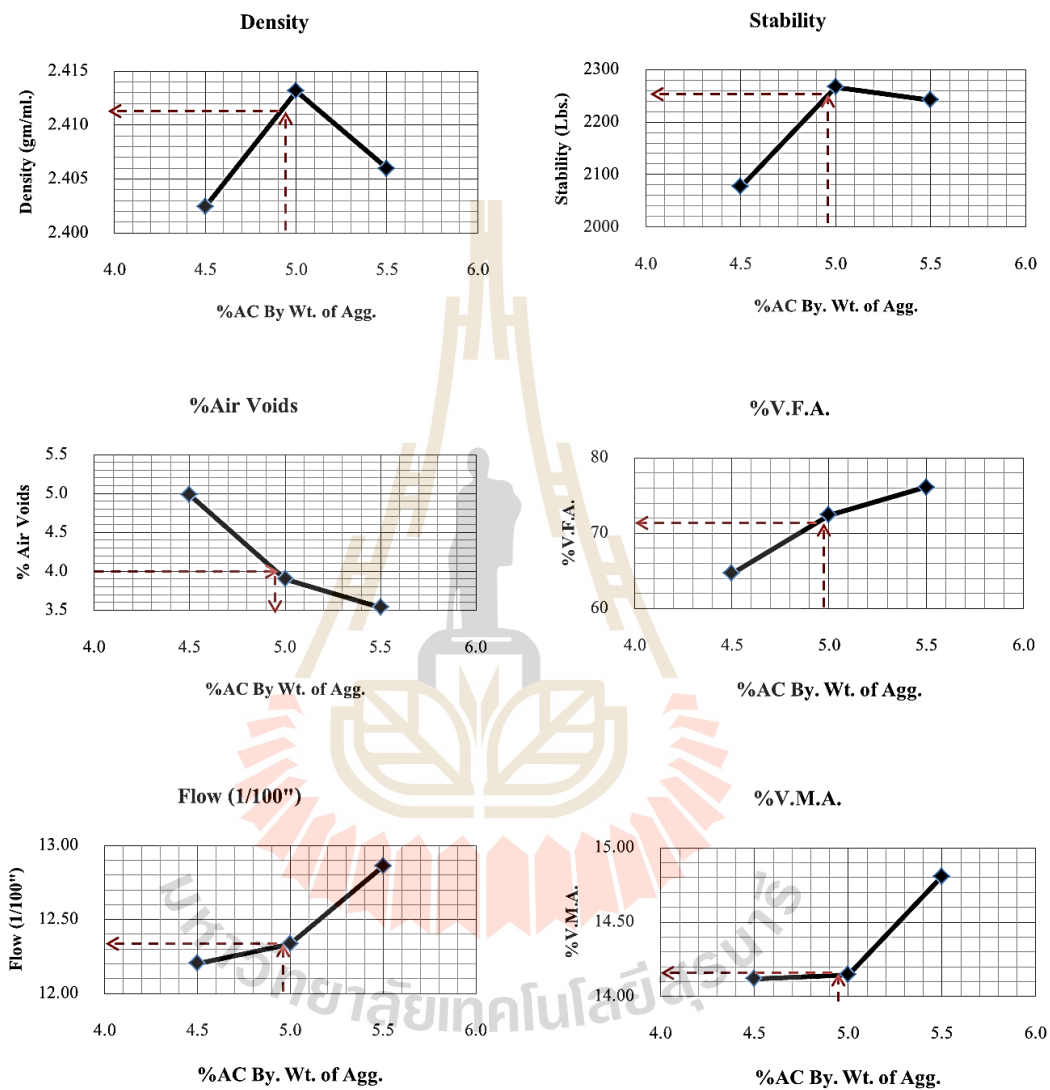
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.48			101.7			101.53	
H		65.35			64.31			65	
Average Bulk volume		512.69			512.06			512.03	
Average Density		2.402			2.413			2.406	
Average Vol AC,%total		9.1			10.2			11.3	
Average Vol Agg,%total		85.9			85.9			85.2	
Average VMA,%		14.1			14.1			14.8	
Average Air Void,%		5.0			3.9			3.5	
Average VFB,%		64.7			72.4			76.1	
Average Stability,lb		2077			2266			2242	
Average Flow,(l/100")		12			12			13	



รูปที่ ก.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีอูรีเทน
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.28 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

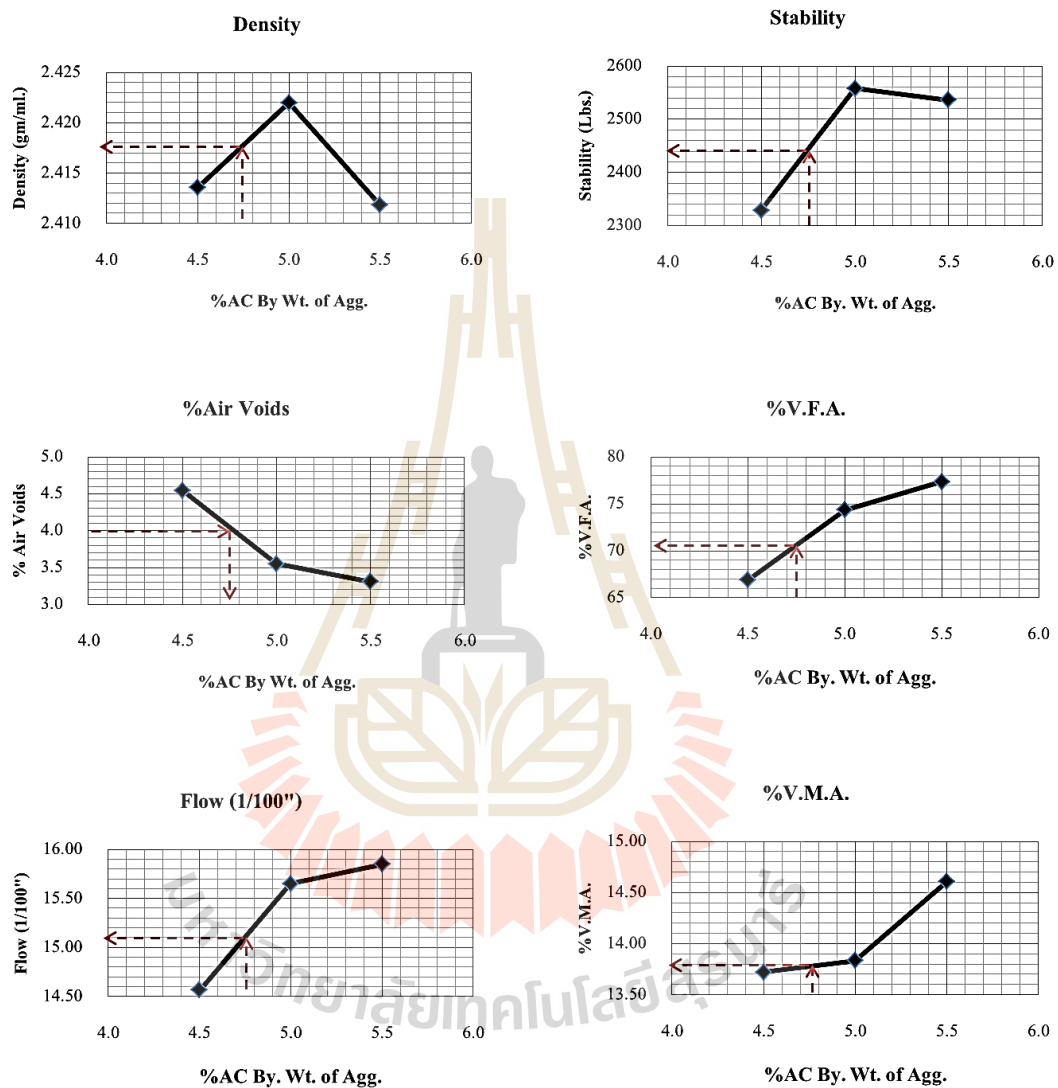
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.71			101.77			101.87	
H		64.75			64.72			65.2	
Average Bulk volume		512.77			511.83			514.33	
Average Density		2.414			2.422			2.412	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.3			86.2			85.4	
Average VMA,%		13.7			13.8			14.6	
Average Air Void,%		4.5			3.6			3.3	
Average VFB,%		66.9			74.3			77.4	
Average Stability,lb		2329			2558			2536	
Average Flow,(l/100")		15			16			16	





รูปที่ ก.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลี อุนหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

ตาราง ก.29 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

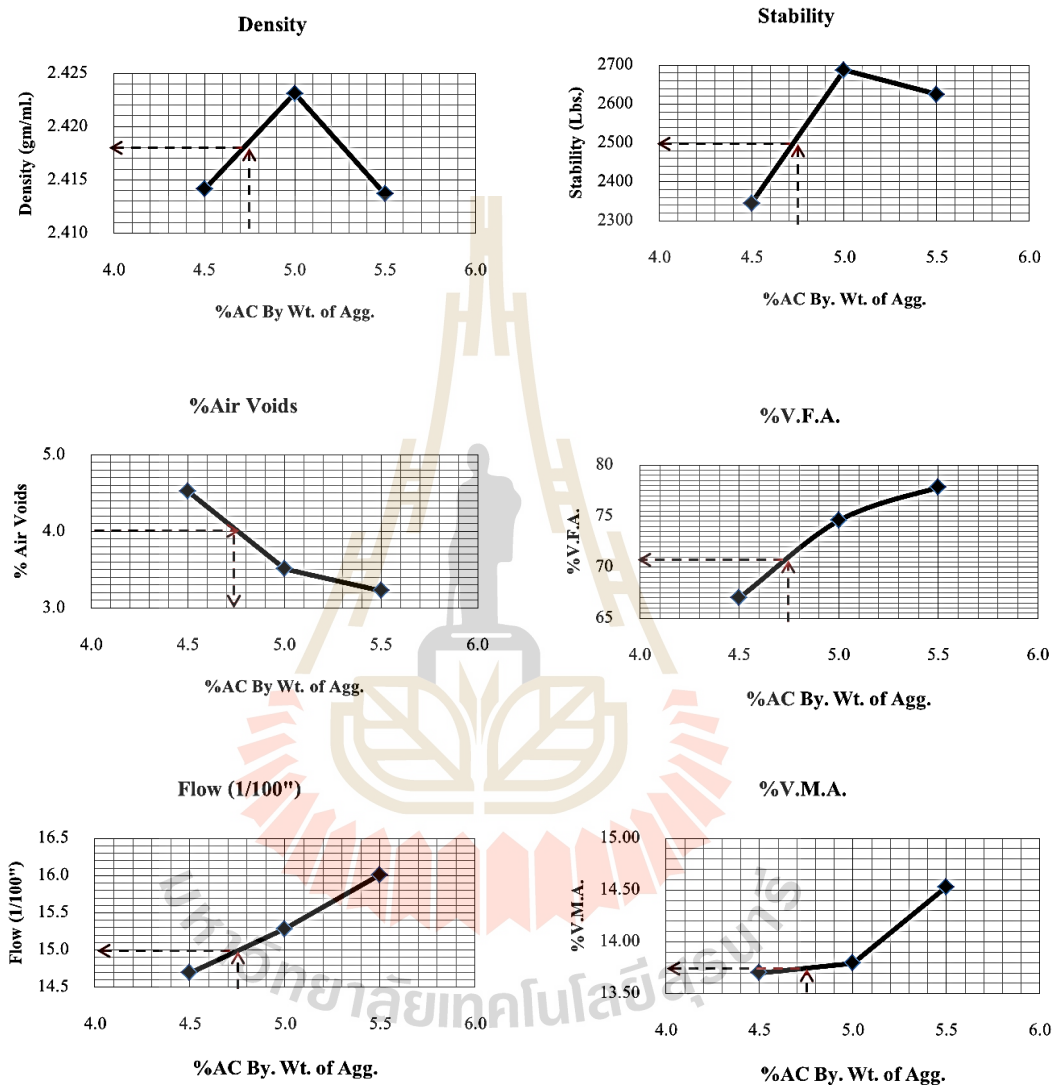
อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.47			101.51			101.73		
H	63.35			63.97			63.99		
Average Bulk volume	507.88			502.49			513.70		
Average Density	2.414			2.423			2.414		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.3			86.3			85.5		
Average VMA,%	13.7			13.8			14.5		
Average Air Void,%	4.5			3.5			3.2		
Average VFB,%	67.0			74.9			77.8		
Average Stability,lb	2346			2687			2625		
Average Flow,(1/100")	15			15			16		



รูปที่ ก.29 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลี อุนหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

ตาราง ก.30 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

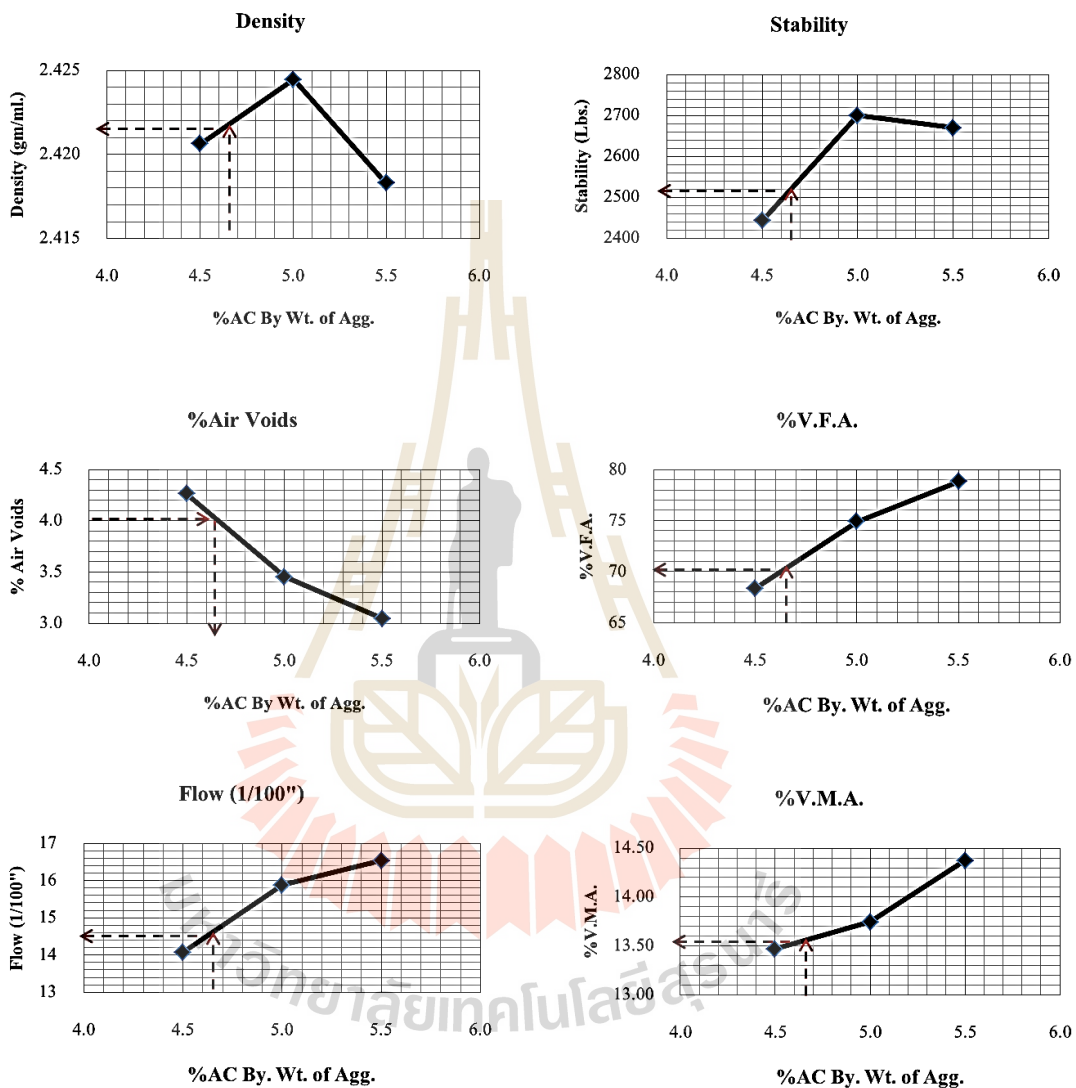
อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.6			101.68			101.7		
H	64.41			64.2			65.03		
Average Bulk volume	509.9			513.41			511		
Average Density	2.421			2.424			2.418		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.5			86.3			85.6		
Average VMA,%	13.5			13.7			14.4		
Average Air Void,%	4.3			3.5			3		
Average VFB,%	68.4			74.9			78.8		
Average Stability,lb	2443			2700			2670		
Average Flow,(l/100")	14			16			17		



รูปที่ ก.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีอุนหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

ตาราง ก.31 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

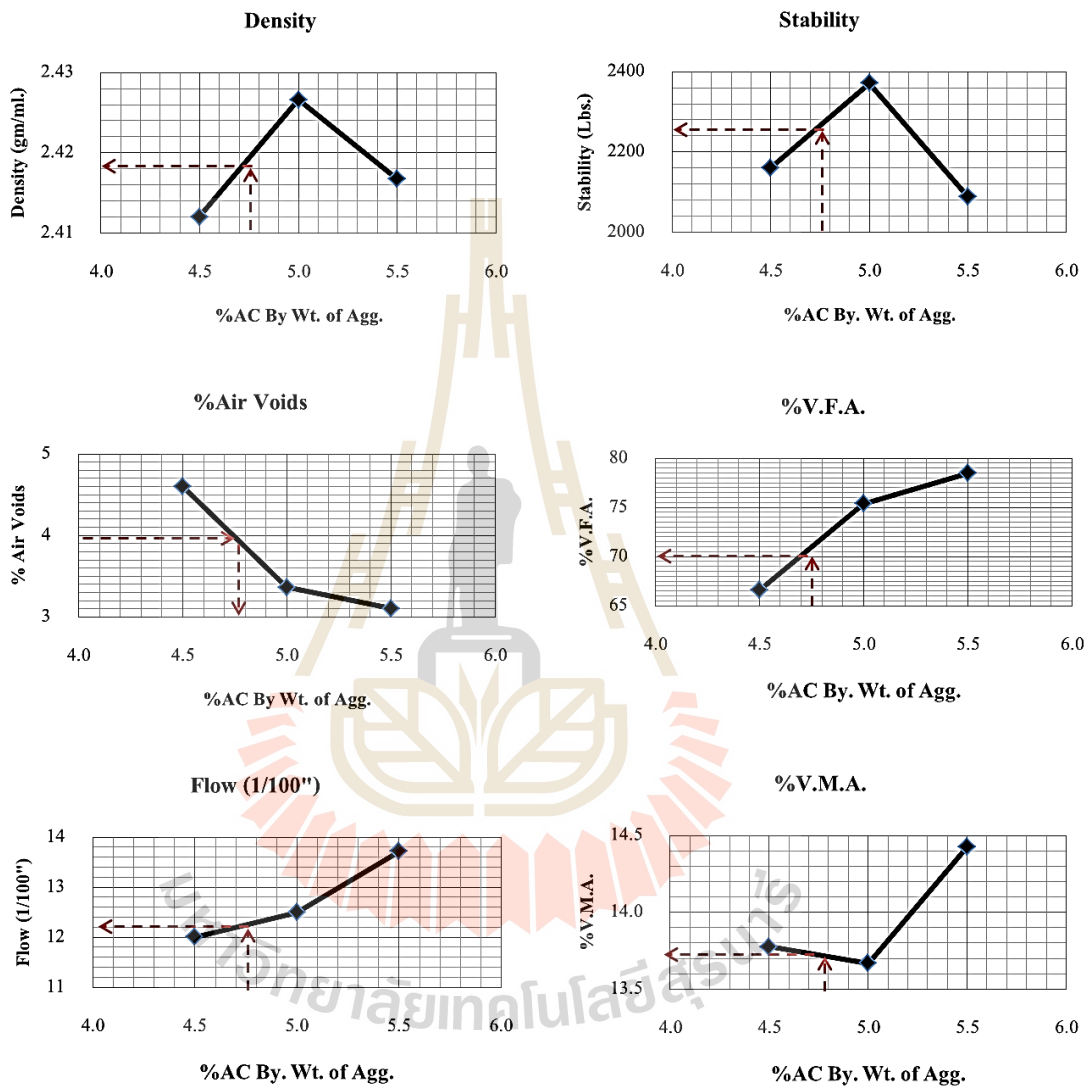
อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.53			101.78			101.67	
H		64.25			63.57			63.94	
Average Bulk volume		510.1			509.83			511.22	
Average Density		2.412			2.427			2.417	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.2			86.3			85.6	
Average VMA,%		13.8			13.7			14.4	
Average Air Void,%		4.6			3.4			3.1	
Average VFB,%		66.6			75.4			78.5	
Average Stability,lb		2161			2371			2089	
Average Flow,(l/100")		12			13			14	



รูปที่ ก.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลี อูนทรมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.32 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

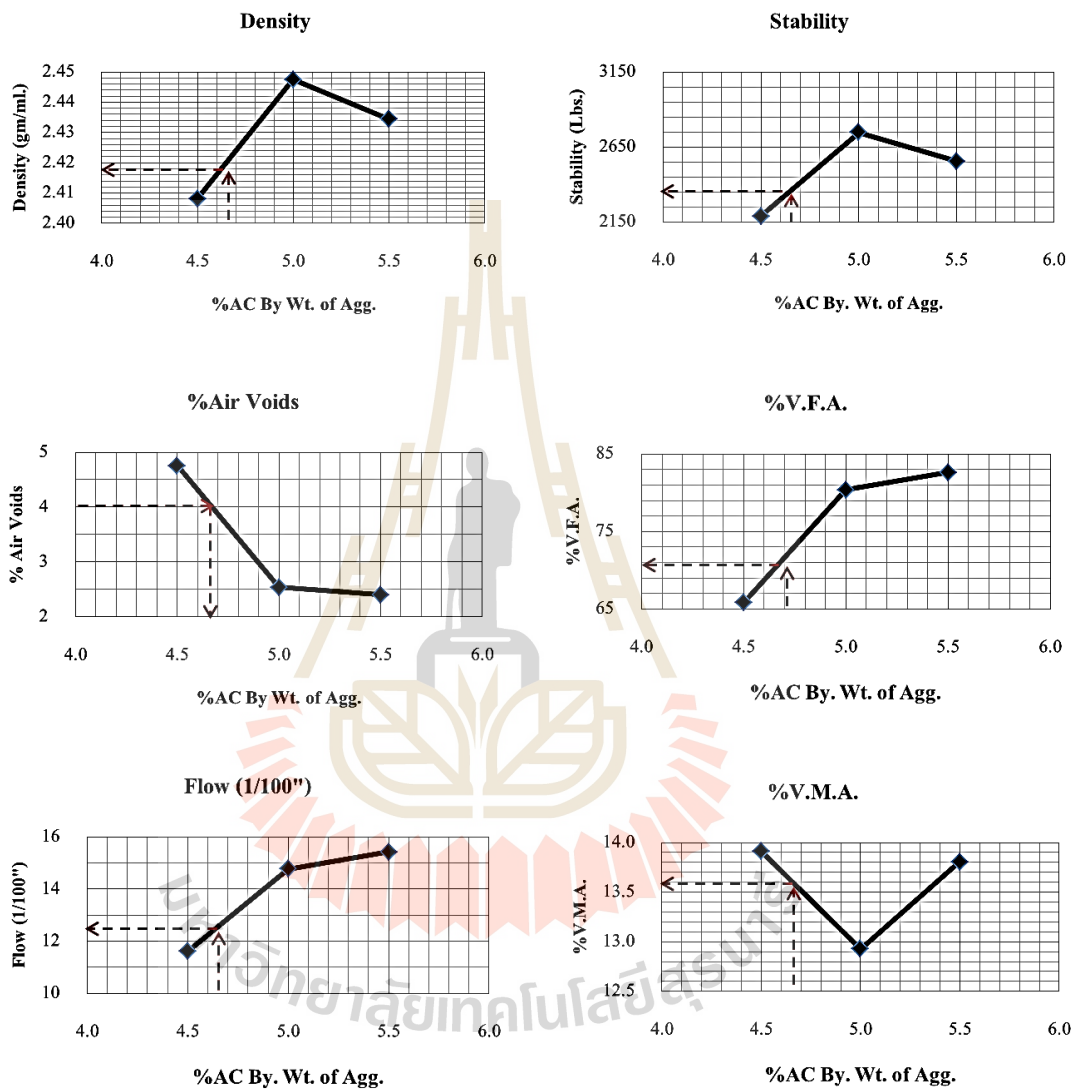
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.77			101.7			101.45	
H		63.87			63.77			63.44	
Average Bulk volume		510.32			504.17			502.27	
Average Density		2.408			2.447			2.434	
Average Vol AC,%total		9.2			10.4			11.4	
Average Vol Agg,%total		86.1			87.1			86.2	
Average VMA,%		13.9			12.9			13.8	
Average Air Void,%		4.8			2.5			2.4	
Average VFB,%		65.8			80.4			82.6	
Average Stability,lb		2189			2748			2555	
Average Flow,(l/100")		12			15			15	





รูปที่ ก.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลี อุนหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.33 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

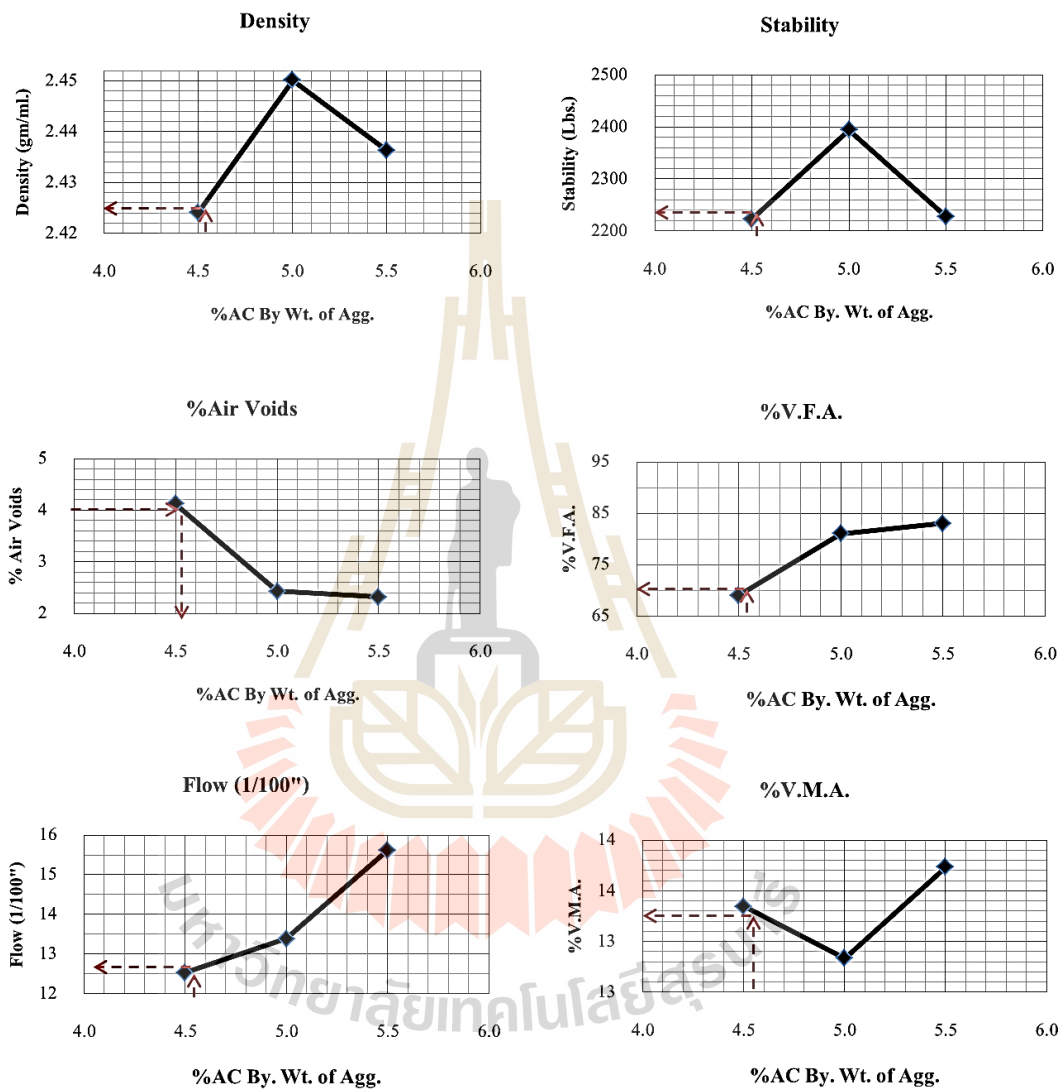
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		102.15			101.98			101.80	
H		63.64			62.66			63.55	
Average Bulk volume		507.75			501.14			504.44	
Average Density		2.424			2.450			2.436	
Average Vol AC,%total		9.2			10.4			11.4	
Average Vol Agg,%total		86.7			87.2			86.3	
Average VMA,%		13.3			12.8			13.7	
Average Air Void,%		4.1			2.4			2.3	
Average VFB,%		69.1			81.1			83.1	
Average Stability,lb		2223			2394			2445	
Average Flow,(1/100")		13			13			16	





รูปที่ ก.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีอิมเมอร์
 อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.34 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

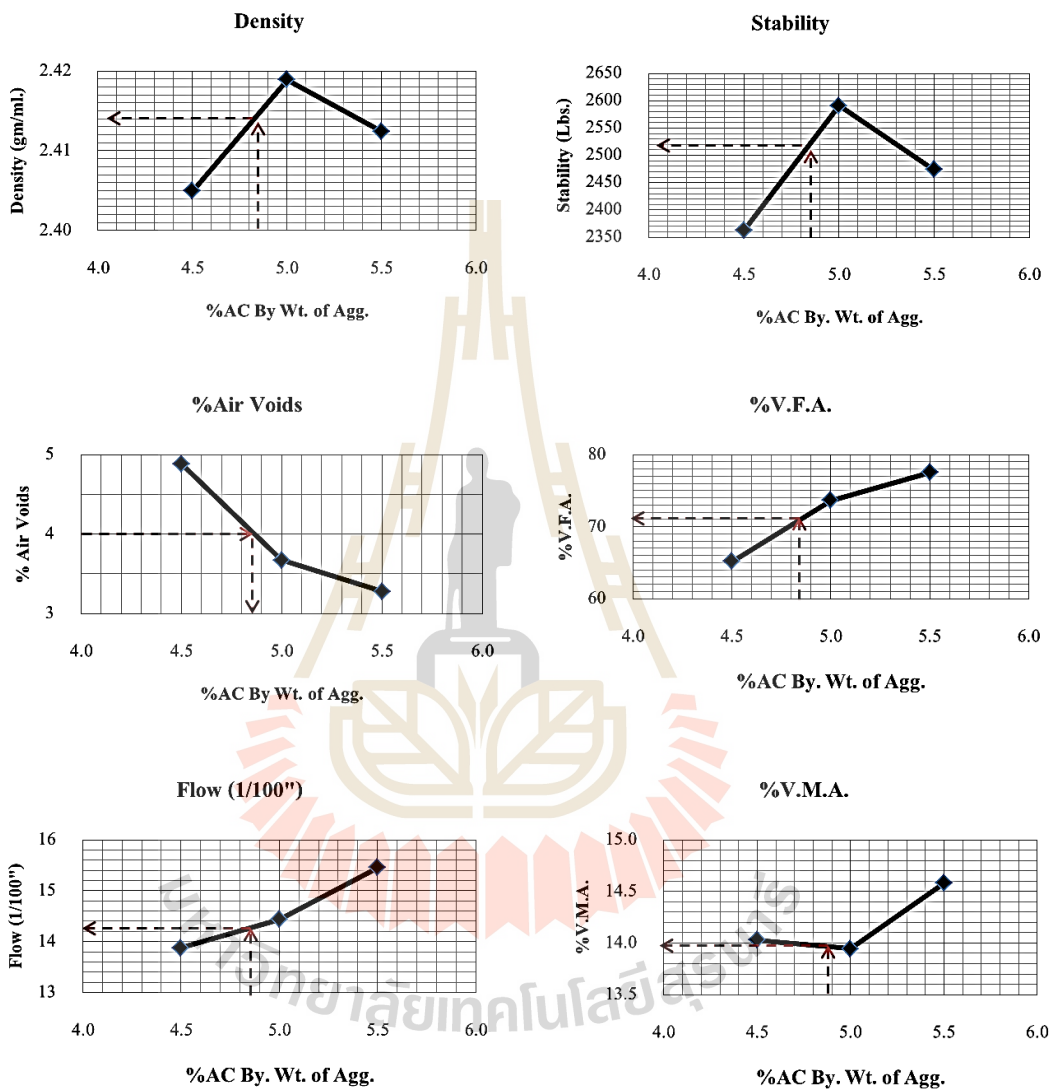
อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.44			101.46			101.6		
H	65.24			64.39			64.14		
Average Bulk volume	507.87			509.94			510.10		
Average Density	2.405			2.419			2.412		
Average Vol AC,%total	9.1			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86			86.3			85.4		
Average VMA,%	14.0			13.9			14.6		
Average Air Void,%	4.9			3.7			3.3		
Average VFB,%	65.2			73.7			77.5		
Average Stability,lb	2363			2591			2474		
Average Flow,(l/100")	14			14			15		



รูปที่ ก.34 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีอุนหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

ตาราง ก.35 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.65			101.71			101.54	
H		63.39			63.62			63.02	
Average Bulk volume		508.76			508.62			507.45	
Average Density		2.412			2.427			2.425	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.4	
Average Vol Agg,%total		86.2			86.3			85.9	
Average VMA,%		13.8			13.7			14.1	
Average Air Void,%		4.6			3.4			2.8	
Average VFB,%		66.6			75.4			80.3	
Average Stability,lb		2235			2814			2604	
Average Flow,(l/100")		13			16			16	

ตาราง ก.36 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

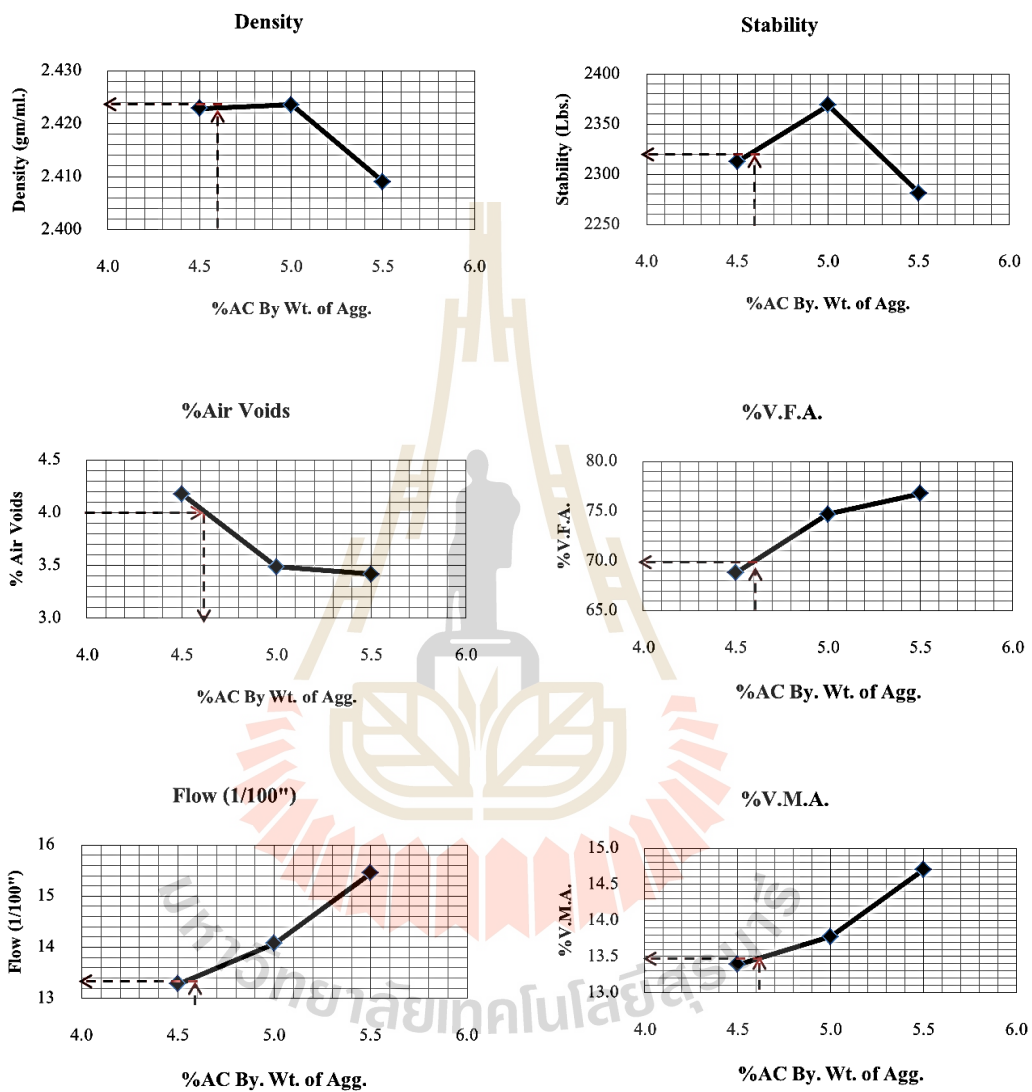
อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	2	3	1	2	3	
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.33			101.78			101.49		
H	63.62			62.95			63.56		
Average Bulk volume	506.03			508.49			510.43		
Average Density	2.423			2.424			2.409		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.6			86.2			85.3		
Average VMA,%	13.4			13.8			14.7		
Average Air Void,%	4.2			3.5			3.4		
Average VFB,%	68.8			74.7			76.8		
Average Stability,lb	2313			2369			2420		
Average Flow,(1/100")	13			14			15		



รูปที่ ก.36 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์
 อัตราร่วนวัสดุ : 50:50

อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส



ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่าง
อากาศเท่ากับ 4%

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		5.15	5.03	4.98
%AC by Mass of Mix (b.)		4.90	4.79	4.74
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.53	4.42	4.37
Spec. Hgt. D		101.59	101.79	101.49
H		63.45	63.92	64.12.
Average Bulk volume		518.26	515.15	512.21
Average Density		2.409	2.409	2.410
Average Vol AC,%total		10.5	10.3	10.2
Average Vol Agg,%total		85.6	85.7	85.7
Average VMA,%		14.43	14.31	14.26
Average Air Void,%		3.89	4.01	4.07
Average VFA,%		73.08	71.95	71.44
Average Stability,lb		1979	2153	2172
Average Flow,(1/100")		8.56	11.51	12

ตาราง ข.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.78	4.69	4.65
%AC by Mass of Mix (b.)		4.56	4.48	4.44
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.19	4.11	4.07
Spec. Hgt. D		101.60	101.58	101.54
H		63.91	63.29	64.56
Average Bulk volume		510.93	512.68	512.67
Average Density		2.419	2.419	2.420
Average Vol AC,%total		9.80	9.61	9.53
Average Vol Agg,%total		86.23	86.33	86.37
Average VMA,%		13.77	13.67	14.26
Average Air Void,%		3.97	4.06	4.07
Average VFA,%		71.15	70.31	69.90
Average Stability,lb		2022	2243	2415
Average Flow,(1/100")		12.30	12.50	13.29

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (G_{ac}) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.85	4.68	4.67
%AC by Mass of Mix (b.)		4.63	4.47	4.46
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.25	4.10	4.09
Spec. Hgt. D		101.56	101.38	101.79
H		63.23	63.27	62.90
Average Bulk volume		511.97	506.43	506.48
Average Density		2.414	2.422	2.418
Average Vol AC,%total		9.93	9.60	9.56
Average Vol Agg,%total		86.00	86.44	86.28
Average VMA,%		14.00	13.56	13.72
Average Air Void,%		4.07	3.96	4.16
Average VFA,%		70.93	70.80	69.69
Average Stability,lb		2349	2333	2139
Average Flow,(1/100")		11.91	12.30	12.64

ตาราง ข.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (G_{ac}) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.91	4.74	4.58
%AC by Mass of Mix (b.)		4.68	4.53	4.38
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.31	4.15	4.01
Spec. Hgt. D		101.23	101.76	101.39
H		62.24	63.36	63.84
Average Bulk volume		503.44	505.52	502.85
Average Density		2.412	2.417	2.423
Average Vol AC,%total		10.05	9.71	9.39
Average Vol Agg,%total		85.88	86.18	86.54
Average VMA,%		14.12	13.82	13.46
Average Air Void,%		4.07	4.11	4.07
Average VFA,%		71.19	70.25	69.75
Average Stability,lb		1872	2059	2075
Average Flow,(1/100")		9.45	9.06	8.76

ตาราง ข.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.91	4.74	4.71
%AC by Mass of Mix (b.)		4.68	4.53	4.50
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.31	4.15	4.13
Spec. Hgt. D		101.39	101.68	101.10
H		65.02	65.50	64.08
Average Bulk volume		514.89	514.38	512.83
Average Density		2.413	2.415	2.420
Average Vol AC,%total		10.05	9.70	9.65
Average Vol Agg,%total		85.91	86.15	86.32
Average VMA,%		14.09	13.85	13.68
Average Air Void,%		4.04	4.15	4.03
Average VFA,%		71.34	70.04	70.56
Average Stability,lb		2114	2195	2234
Average Flow,(1/100")		12.70	13.68	14.47

ตาราง ข.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.91	4.74	4.71
%AC by Mass of Mix (b.)		4.68	4.53	4.50
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.31	4.15	4.13
Spec. Hgt. D		101.54	101.63	101.76
H		64.13	65.00	63.22
Average Bulk volume		512.00	515.75	512.31
Average Density		2.413	2.415	2.420
Average Vol AC,%total		10.05	9.70	9.65
Average Vol Agg,%total		85.90	86.14	86.32
Average VMA,%		14.10	13.86	13.68
Average Air Void,%		4.04	4.15	4.03
Average VFA,%		71.32	70.02	70.56
Average Stability,lb		2419	2397	2361
Average Flow,(1/100")		13.39	12.50	12.60

ตาราง ข.7 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		5	4.92	4.85
%AC by Mass of Mix (b.)		4.76	4.69	4.63
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.39	4.32	4.25
Spec. Hgt. D		101.59	101.69	101.67
H		63.37	63.88	63.70
Average Bulk volume		512.82	512.48	512.44
Average Density		2.409	2.413	2.414
Average Vol AC,%total		10.23	10.08	9.93
Average Vol Agg,%total		85.73	85.91	86.01
Average VMA,%		14.27	14.09	13.99
Average Air Void,%		4.04	4.01	4.06
Average VFA,%		71.69	71.52	70.98
Average Stability,lb		2429	2222	2132
Average Flow,(1/100")		12.50	12.70	12.11

ตาราง ข.8 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.94	4.80	4.63
%AC by Mass of Mix (b.)		4.71	4.58	4.43
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.34	4.21	4.05
Spec. Hgt. D		101.41	101.49	101.68
H		62.89	63.26	63.68
Average Bulk volume		497.44	504.80	504.93
Average Density		2.414	2.413	2.422
Average Vol AC,%total		10.12	9.80	9.50
Average Vol Agg,%total		85.92	86.00	86.50
Average VMA,%		14.08	14.00	13.53
Average Air Void,%		3.96	4.16	4.03
Average VFA,%		71.88	70.25	70.18
Average Stability,lb		1901	2143	2434
Average Flow,(1/100")		9.94	9.06	8.76

ตาราง ข.9 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		5.04	4.99	4.97
%AC by Mass of Mix (b.)		4.80	4.75	4.73
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.43	4.38	4.36
Spec. Hgt. D		101.68	101.63	101.58
H		64.86	63.50	64.07
Average Bulk volume		520.10	519.69	514.04
Average Density		2.408	2.407	2.411
Average Vol AC,%total		10.31	10.20	10.17
Average Vol Agg,%total		85.65	85.65	85.80
Average VMA,%		14.35	14.35	14.20
Average Air Void,%		4.04	4.15	4.03
Average VFA,%		71.84	71.09	71.62
Average Stability,lb		1981	1999	1966
Average Flow,(1/100")		12.30	11.52	11.71

ตาราง ข.10 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.77	4.75	4.65
%AC by Mass of Mix (b.)		4.55	4.53	4.44
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.18	4.16	4.07
Spec. Hgt. D		101.69	101.67	101.65
H		64.06	63.68	64.47
Average Bulk volume		511.05	510.65	511.26
Average Density		2.421	2.416	2.423
Average Vol AC,%total		9.79	9.73	9.54
Average Vol Agg,%total		86.30	86.16	86.50
Average VMA,%		13.70	13.84	13.50
Average Air Void,%		3.91	4.11	3.96
Average VFA,%		71.45	70.27	70.66
Average Stability,lb		2138	2230	2153
Average Flow,(1/100")		13.09	12.89	12.89

ตาราง ข.11 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิด โฟม

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.75	4.67	4.53
%AC by Mass of Mix (b.)		4.53	4.46	4.33
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.16	4.09	3.96
Spec. Hgt. D		101.62	101.73	101.65
H		64.61	64.01	63.27
Average Bulk volume		512.53	509.97	509.82
Average Density		2.418	2.421	2.425
Average Vol AC,%total		9.73	9.57	9.29
Average Vol Agg,%total		86.21	86.40	86.64
Average VMA,%		13.79	13.60	13.36
Average Air Void,%		4.05	4.02	4.07
Average VFA,%		70.59	70.42	69.53
Average Stability,lb		2096	2183	2108
Average Flow,(1/100")		10.93	11.02	10.73

ตาราง ข.12 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิด โฟม

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.85	4.74	4.60
%AC by Mass of Mix (b.)		4.63	4.53	4.40
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.25	4.15	4.02
Spec. Hgt. D		101.55	101.62	101.60
H		63.84	64.27	63.65
Average Bulk volume		503.45	504.71	502.21
Average Density		2.414	2.416	2.424
Average Vol AC,%total		9.93	9.71	9.44
Average Vol Agg,%total		85.99	86.18	86.57
Average VMA,%		14.01	13.82	13.43
Average Air Void,%		4.08	4.12	4.00
Average VFA,%		70.90	70.22	70.23
Average Stability,lb		1906	2040	2470
Average Flow,(1/100")		10.14	8.96	8.76



ภาคผนวก ค.

ผลการทดสอบความไว้วางใจต่อความซื่อสัตย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตาราง ค.1 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.45	101.28	101.80	101.38	101.38	100.75
Diameter (in.)	D	3.99	3.99	4.01	3.99	3.99	3.97
Thickness (mm.)	t	65.23	65.30	65.45	65.40	65.23	66.9
Thickness (in.)	t	2.57	2.57	2.58	2.57	2.57	2.63
Dry mass in air	A	1230.49	1232.95	1221.47	1227.29	1228.56	1239.14
SSD Mass	B	1238.39	1239.41	1230.25	1236.87	1237.52	1247.29
Mass in water	C	716.48	716.64	712.04	716.40	716.63	721.59
Volume (B-C)	E	521.91	522.77	518.21	520.47	520.89	525.7
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.358	2.358	2.357	2.358	2.359	2.357
Max Sp.Gr.	Gmm	2.539	2.539	2.539	2.539	2.539	2.539
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.14	7.11	7.16	7.13	7.11	7.16
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.274	37.165	37.127	37.095	37.014	37.657
Load (lbs)	P				1327	1397	1367
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				82.24	86.81	83.34
Avg. Dry Tensile Strenght					84.13		
Thickness (mm.)	t"	65.23	65.30	65.43			
Thickness (in.)	t"	2.57	2.57	2.58			
SSD Mass	B"	1251.63	1254.41	1243.25			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.14	21.46	21.78			
%Saturated (100J"/I)		56.71	57.74	58.66			
Load (lbs)	P"	1072	1107	1089			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	66.57	68.78	67.18			
Avg. Wet Tensile Strenght		67.51					
TSR, 100Stm/Std (%)		80.94	79.23	80.61			
TSR, 100Stm/Std (%)		80.24					

ตาราง ค.2 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.82	101.58	101.6	101.22	101.56	101.42
Diameter (in.)	D	4.01	4.00	4.00	3.99	4.00	3.99
Thickness (mm.)	t	69.00	68.70	68.00	70.80	69.90	70.12
Thickness (in.)	t	2.72	2.70	2.68	2.79	2.75	2.76
Dry mass in air	A	1224.41	1214.60	1215.63	1219.21	1213.43	1215.61
SSD Mass	B	1233.62	1223.71	1224.00	1228.45	1222.51	1224.01
Mass in water	C	707.08	701.04	710.11	704.23	700.51	701.31
Volume (B-C)	E	526.54	522.67	522.89	524.22	522.00	522.70
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.325	2.324	2.325	2.326	2.325	2.326
Max Sp.Gr.	Gmm	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.13	7.19	7.16	7.12	7.17	7.12
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.558	37.606	37.415	37.315	37.403	37.233
Load (lbs)	P				1501	1478	1490
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				86.07	85.55	86.10
Avg. Dry Tensile Strenght					85.91		
Thickness (mm.)	t"	69.00	68.70	68.00			
Thickness (in.)	t"	2.72	2.70	2.68			
SSD Mass	B"	1246.62	1236.71	1238.31			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	22.21	22.11	22.68			
%Saturated (100J"/I)		59.13	58.79	60.62			
Load (lbs)	P"	1107	1089	1101			
Wet Strenght, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	64.75	64.13	65.49			
Avg. Wet Tensile Strenght		64.79					
TSR, 100Stm/Std (%)		75.23	74.95	76.06			
TSR, 100Stm/Std (%)		75.42					

ตาราง ค.3 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.64	101.60	101.54	101.50	101.62	101.48
Diameter (in.)	D	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Thickness (mm.)	t	69.92	68.36	68.52	70.60	71.00	70.46
Thickness (in.)	t	2.75	2.69	2.70	2.78	2.80	2.77
Dry mass in air	A	1216.96	1223.93	1221.46	1226.01	1216.32	1225.52
SSD Mass	B	1225.13	1232.37	1231.57	1235.60	1225.43	1235.49
Mass in water	C	704.97	709.05	709.12	711.63	705.53	711.46
Volume (B-C)	E	520.16	523.32	522.45	523.97	519.90	524.03
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.340	2.339	2.338	2.340	2.340	2.339
Max Sp.Gr.	Gmm	2.519	2.519	2.519	2.519	2.519	2.519
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.12	7.15	7.19	7.11	7.12	7.16
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.048	37.441	37.551	37.265	37.042	37.519
Load (lbs)	P				775	793	787
Dry Strength, 2P/πtD (psi)	Std				44.44	45.17	45.23
Avg. Dry Tensile Strength					44.95		
Thickness (mm.)	t"	69.92	68.32	68.52			
Thickness (in.)	t"	2.75	2.69	2.70			
SSD Mass	B"	1238.13	1246.37	1243.57			
Vol Abs. Water (B"-A)	J"	21.17	22.44	22.11			
%Saturated (100J"/I)		57.14	59.93	58.88			
Load (lbs)	P"	545	535	523			
Wet Strength, P/πtD (psi)	Stm	31.51	31.65	30.89			
Avg. Wet Tensile Strength		31.35					
TSR, 100Stm/Std (%)		70.91	70.08	68.30			
TSR, 100Stm/Std (%)		69.76					

ตาราง ค.4ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิด โฟม

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.60	101.30	101.42	101.58	101.38	101.4
Diameter (in.)	D	4.00	3.99	3.99	4.00	3.99	3.99
Thickness (mm.)	t	70	68.70	67.80	69.00	71.50	71.00
Thickness (in.)	t	2.76	2.70	2.67	2.72	2.81	2.80
Dry mass in air	A	1226.18	1214.20	1213.42	1226.02	1212.76	1210.54
SSD Mass	B	1235.58	1223.82	1222.83	1235.44	1221.16	1219.62
Mass in water	C	705.25	698.47	697.91	705.15	696.50	695.81
Volume (B-C)	E	530.33	525.35	524.92	530.29	524.66	523.81
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.312	2.311	2.312	2.312	2.312	2.311
Max Sp.Gr.	Gmm	2.490	2.490	2.490	2.490	2.490	2.490
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.14	7.18	7.16	7.15	7.17	7.19
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.888	37.719	37.603	37.912	37.608	37.649
Load (lbs)	P				1060	1049	1043
Dry Strenght, 2P/ π tD (psi)	Std				62.15	59.47	59.53
Avg. Dry Tensile Strenght					60.38		
Thickness (mm.)	t"	70	68.70	67.80			
Thickness (in.)	t"	2.76	2.70	2.67			
SSD Mass	B"	1248.58	1235.82	1235.83			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	22.4	21.62	22.41			
%Saturated (100J"/I)		59.12	57.32	59.60			
Load (lbs)	P"	574	541	547			
Wet Strenght, P/ π tD (psi)	Stm	33.17	31.94	32.69			
Avg. Wet Tensile Strenght			32.60				
TSR, 100Stm/Std (%)		53.37	53.72	54.91			
TSR, 100Stm/Std (%)			53.99				

ตาราง ค.5ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิด โฟม

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	100.90	101.00	101.62	101.42	101.38	101.40
Diameter (in.)	D	3.97	3.98	4.00	3.99	3.99	3.99
Thickness (mm.)	t	69.00	68.00	67.88	68.70	69.00	67.00
Thickness (in.)	t	2.72	2.68	2.67	2.70	2.72	2.64
Dry mass in air	A	1217.69	1207.27	1210.23	1207.33	1220.8	1208.38
SSD Mass	B	1226.17	1216.59	1219.47	1216.37	1229.2	1217.92
Mass in water	C	702.17	696.74	698.61	696.71	703.80	698.02
Volume (B-C)	E	524.00	519.85	520.86	519.66	525.40	519.90
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.324	2.322	2.324	2.323	2.324	2.324
Max Sp.Gr.	Gmm	2.502	2.502	2.502	2.502	2.502	2.502
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.12	7.18	7.13	7.14	7.13	7.10
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.313	37.328	37.155	37.114	37.470	36.924
Load (lbs)	P				1338	1309	1321
Dry Strenght, 2P/ π tD (psi)	Std				78.91	76.90	79.90
Avg. Dry Tensile Strenght					78.57		
Thickness (mm.)	t"	69.00	68.00	67.88			
Thickness (in.)	t"	2.72	2.68	2.67			
SSD Mass	B"	1239.47	1228.59	1232.45			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.78	21.32	22.22			
%Saturated (100J"/I)		58.37	57.12	59.80			
Load (lbs)	P"	763	758	787			
Wet Strength, P/ π tD (psi)	Stm	45.04	45.35	46.88			
Avg. Wet Tensile Strenght			45.76				
TSR, 100Stm/Std (%)		57.07	58.98	58.68			
TSR, 100Stm/Std (%)		58.24					

ตาราง ค.6ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.45	101.28	101.8	101.38	101.38	100.75
Diameter (in.)	D	3.99	3.99	4.01	3.99	3.99	3.97
Thickness (mm.)	t	65.23	65.3	65.43	65.4	65.23	66.9
Thickness (in.)	t	2.57	2.57	2.58	2.57	2.57	2.63
Dry mass in air	A	1230.49	1232.95	1221.47	1227.29	1228.56	1239.14
SSD Mass	B	1238.39	1239.41	1230.25	1236.87	1237.52	1247.29
Mass in water	C	716.48	716.64	712.04	716.4	716.63	721.59
Volume (B-C)	E	521.91	522.77	518.21	520.47	520.89	525.7
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.358	2.358	2.357	2.358	2.359	2.357
Max Sp.Gr.	Gmm	2.539	2.539	2.539	2.539	2.539	2.539
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.14	7.11	7.16	7.13	7.11	7.16
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.274	37.165	37.127	37.095	37.014	37.657
Load (lbs)	P				2194	2398	2300
Dry Strenght, 2P/πtD (psi)	Std				135.98	149.01	140.22
Avg. Dry Tensile Strenght					141.74		
Thickness (mm.)	t"	65.23	65.3	65.43			
Thickness (in.)	t"	2.57	2.57	2.58			
SSD Mass	B"	1251.63	1254.41	1243.25			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.14	21.46	21.78			
%Saturated (100J"/I)		56.71	57.74	58.66			
Load (lbs)	P"	1781	2106	2047			
Wet Strenght, P/πtD (psi)	Stm	110.59	130.85	126.29			
Avg. Wet Tensile Strenght		122.58					
TSR, 100Stm/Std (%)		81.33	87.82	90.06			
TSR, 100Stm/Std (%)		86.48					

ตาราง ค.7ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม:

150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.15	101.2	100.6	101.1	101.6	101.2
Diameter (in.)	D	3.98	3.98	3.96	3.98	4.00	3.98
Thickness (mm.)	t	65.6	65.4	66.2	66.6	64.6	65.7
Thickness (in.)	t	2.58	2.57	2.61	2.62	2.54	2.59
Dry mass in air	A	1234.52	1234.54	1238.87	1231.2	1232.42	1239.86
SSD Mass	B	1243.65	1242.62	1246.29	1240.72	1241.48	1248.16
Mass in water	C	716.56	715.66	717.45	715.24	715.28	718.68
Volume (B-C)	E	527.09	526.96	528.84	525.48	526.2	529.48
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.342	2.343	2.343	2.343	2.342	2.342
Max Sp.Gr.	Gmm	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.13	7.11	7.11	7.10	7.13	7.15
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.590	37.452	37.615	37.296	37.532	37.862
Load (lbs)	P				1514	1277	1336
Dry Strenght, 2P/πtD (psi)	Std				92.40	79.95	82.57
Avg. Dry Tensile Strenght					84.97		
Thickness (mm.)	t"	65.6	65.4	66.2			
Thickness (in.)	t"	2.58	2.57	2.61			
SSD Mass	B"	1256.59	1256.57	1261.18			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	22.07	22.03	22.31			
%Saturated (100J"/I)		58.71	58.82	59.31			
Load (lbs)	P"	1017	1135	1064			
Wet Strength, P/πtD (psi)	Stm	62.98	70.47	65.65			
Avg. Wet Tensile Strenght			66.37				
TSR, 100Stm/Std (%)		68.16	88.14	79.51			
TSR, 100Stm/Std (%)			78.10				

ตาราง ค.8ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.45	101.8	101.6	101.25	101.35	101.25
Diameter (in.)	D	3.99	4.01	4.00	3.99	3.99	3.99
Thickness (mm.)	t	64.8	66.75	66.6	65.4	66.3	65.6
Thickness (in.)	t	2.55	2.63	2.62	2.57	2.61	2.58
Dry mass in air	A	1223.09	1236.32	1233.4	1236.18	1236.36	1230.42
SSD Mass	B	1232.18	1245.98	1243.23	1245.06	1245.94	1240.52
Mass in water	C	712.54	720.64	719.03	719.9	720.46	717.68
Volume (B-C)	E	519.64	525.34	524.2	525.16	525.48	522.84
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.354	2.353	2.353	2.354	2.353	2.353
Max Sp.Gr.	Gmm	2.534	2.534	2.534	2.534	2.534	2.534
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.11	7.13	7.15	7.11	7.15	7.13
Volume Airvoid (HE/100)	I	36.968	37.447	37.460	37.323	37.572	37.276
Load (lbs)	P				1668	1692	1686
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				103.51	103.47	104.31
Avg. Dry Tensile Strenght					103.77		
Thickness (mm.)	t"	64.8	66.75	66.6			
Thickness (in.)	t"	2.55	2.63	2.62			
SSD Mass	B"	1244.83	1258.15	1255.86			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.74	21.83	22.46			
%Saturated (100J"/I)		58.81	58.30	59.96			
Load (lbs)	P"	1047	899	1094			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	65.45	54.37	66.44			
Avg. Wet Tensile Strenght			62.08				
TSR, 100Stm/Std (%)		63.23	52.54	63.69			
TSR, 100Stm/Std (%)			59.83				

ตาราง ค.9ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดโฟม

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101	101.2	101.85	101.4	101.38	101.56
Diameter (in.)	D	3.98	3.98	4.01	3.99	3.99	4.00
Thickness (mm.)	t	66.18	66.26	66.24	64.4	64.94	63.68
Thickness (in.)	t	2.61	2.61	2.61	2.54	2.56	2.51
Dry mass in air	A	1242.34	1236.82	1244.66	1224.84	1234.24	1229.46
SSD Mass	B	1250.81	1245.28	1253.46	1232.02	1243.04	1238.74
Mass in water	C	718.82	715.72	720.42	707.54	714.64	712.36
Volume (B-C)	E	531.99	529.56	533.04	524.48	528.4	526.38
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.335	2.336	2.335	2.335	2.336	2.336
Max Sp.Gr.	Gmm	2.516	2.516	2.516	2.516	2.516	2.516
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.18	7.17	7.19	7.18	7.16	7.17
Volume Airvoid (HE/100)	I	38.214	37.978	38.342	37.660	37.844	37.723
Load (lbs)	P				1419	1775	1449
Dry Strenght, 2P/πtD (psi)	Std				89.29	110.79	92.07
Avg. Dry Tensile Strenght					97.38		
Thickness (mm.)	t"	66.18	66.26	66.24			
Thickness (in.)	t"	2.61	2.61	2.61			
SSD Mass	B"	1265.24	1258.87	1266.37			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	22.9	22.05	21.71			
%Saturated (100J"/I)		59.93	58.06	56.62			
Load (lbs)	P"	842	905	952			
Wet Strength, P/πtD (psi)	Stm	51.76	55.46	57.99			
Avg. Wet Tensile Strenght		55.07					
TSR, 100Stm/Std (%)		57.97	50.06	62.98			
TSR, 100Stm/Std (%)		56.55					

ตาราง ค.10ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดโฟม

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.1	101.1	101.15	101	101.8	101.2
Diameter (in.)	D	3.98	3.98	3.98	3.98	4.01	3.98
Thickness (mm.)	t	66.35	67.1	65.3	66.35	67.15	66.85
Thickness (in.)	t	2.61	2.64	2.57	2.61	2.64	2.63
Dry mass in air	A	1240.46	1247.92	1239.2	1240.75	1241.76	1247.48
SSD Mass	B	1248.48	1256.8	1248.96	1248.64	1250.72	1256.74
Mass in water	C	717.46	722.74	718.66	717.48	719.34	722.78
Volume (B-C)	E	531.02	534.06	530.3	531.16	531.38	533.96
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.336	2.337	2.337	2.336	2.337	2.336
Max Sp.Gr.	Gmm	2.516	2.516	2.516	2.516	2.516	2.516
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.15	7.13	7.12	7.16	7.12	7.14
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.991	38.066	37.772	38.016	37.835	38.141
Load (lbs)	P				1307	1307	1301
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				80.15	78.57	79.02
Avg. Dry Tensile Strenght					79.25		
Thickness (mm.)	t"	66.35	67.1	65.3			
Thickness (in.)	t"	2.61	2.64	2.57			
SSD Mass	B"	1262.69	1269.74	1261.33			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	22.23	21.82	22.13			
%Saturated (100J"/I)		58.51	57.32	58.59			
Load (lbs)	P"	753	893	922			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	46.13	54.09	57.36			
Avg. Wet Tensile Strenght		52.53					
TSR, 100Stm/Std (%)		57.56	68.85	72.59			
TSR, 100Stm/Std (%)		66.28					

ตาราง ค.11ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	100.97	101.17	101.37	101.8	101.35	101.58
Diameter (in.)	D	3.98	3.98	3.99	4.01	3.99	4.00
Thickness (mm.)	t	64.97	64.33	65.8	65.75	64.8	64.2
Thickness (in.)	t	2.56	2.53	2.59	2.59	2.55	2.53
Dry mass in air	A	1220.38	1221.88	1233.2	1229.68	1212.94	1223.8
SSD Mass	B	1227.42	1229.82	1242.54	1238.36	1219.72	1233.12
Mass in water	C	703.32	705.16	713.45	710.66	699.14	707.82
Volume (B-C)	E	524.1	524.66	529.09	527.7	520.58	525.3
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.329	2.329	2.331	2.330	2.330	2.330
Max Sp.Gr.	Gmm	2.509	2.509	2.509	2.509	2.509	2.509
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.19	7.18	7.10	7.12	7.14	7.15
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.699	37.661	37.579	37.592	37.144	37.536
Load (lbs)	P				2006	1976	1923
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				123.16	123.64	121.17
Avg. Dry Tensile Strenght					122.66		
Thickness (mm.)	t"	64.97	64.33	65.8			
Thickness (in.)	t"	2.56	2.53	2.59			
SSD Mass	B"	1242.88	1244.22	1255.74			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	22.5	22.34	22.54			
%Saturated (100J"/I)		59.68	59.32	59.98			
Load (lbs)	P"	1603	1680	1674			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	100.41	106.07	103.13			
Avg. Wet Tensile Strenght		103.21					
TSR, 100Stm/Std (%)		81.53	85.79	85.11			
TSR, 100Stm/Std (%)		84.14					

ตาราง ค.12ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม:

150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.22	101.76	101.88	101.64	101.66	101.88
Diameter (in.)	D	3.99	4.01	4.01	4.00	4.00	4.01
Thickness (mm.)	t	65.78	65.28	65.4	67.16	66.88	65.7
Thickness (in.)	t	2.59	2.57	2.57	2.64	2.63	2.59
Dry mass in air	A	1228.36	1224.59	1230.24	1223.47	1232.95	1221.04
SSD Mass	B	1237.65	1233.76	1239.25	1233.88	1244.2	1231.09
Mass in water	C	712.22	709.75	712.74	710.16	716.45	708.62
Volume (B-C)	E	525.43	524.01	526.51	523.72	527.75	522.47
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.338	2.337	2.337	2.336	2.336	2.337
Max Sp.Gr.	Gmm	2.517	2.517	2.517	2.517	2.517	2.517
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.12	7.15	7.17	7.19	7.18	7.15
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.405	37.482	37.738	37.637	37.901	37.353
Load (lbs)	P				1811	1793	1745
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				109.02	108.37	107.13
Avg. Dry Tensile Strenght					108.17		
Thickness (mm.)	t"	65.78	65.28	65.4			
Thickness (in.)	t"	2.59	2.57	2.57			
SSD Mass	B"	1250.15	1246.11	1252.43			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.79	21.52	22.19			
%Saturated (100J"/I)		58.25	57.41	58.80			
Load (lbs)	P"	1419	1437	1485			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	87.58	88.89	91.59			
Avg. Wet Tensile Strenght			89.35				
TSR, 100Stm/Std (%)		80.33	82.03	85.49			
TSR, 100Stm/Std (%)			82.60				

ตาราง ค.13ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.48	101.8	101.86	101.4	101.74	101.58
Diameter (in.)	D	4.00	4.01	4.01	3.99	4.01	4.00
Thickness (mm.)	t	67.26	66.9	67.34	67.16	65.9	66.28
Thickness (in.)	t	2.65	2.63	2.65	2.64	2.59	2.61
Dry mass in air	A	1224.4	1225.21	1208.54	1227.08	1230.22	1232.22
SSD Mass	B	1233.16	1233.13	1217.39	1235.17	1239.12	1240.52
Mass in water	C	709.09	708.57	699.86	709.82	712.54	713.15
Volume (B-C)	E	524.07	524.56	517.53	525.35	526.58	527.37
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.336	2.336	2.335	2.336	2.336	2.337
Max Sp.Gr.	Gmm	2.516	2.516	2.516	2.516	2.516	2.516
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.14	7.17	7.19	7.16	7.14	7.13
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.425	37.593	37.188	37.639	37.621	37.616
Load (lbs)	P				1994	1929	1976
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				120.32	118.23	120.60
Avg. Dry Tensile Strenght					119.72		
Thickness (mm.)	t"	67.26	66.9	67.34			
Thickness (in.)	t"	2.65	2.63	2.65			
SSD Mass	B"	1246.22	1247.45	1230.52			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.82	22.24	21.98			
%Saturated (100J"/I)		58.30	59.16	59.10			
Load (lbs)	P"	1668	1704	1609			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	100.42	102.82	96.39			
Avg. Wet Tensile Strenght		99.88					
TSR, 100Stm/Std (%)		83.46	86.96	79.93			
TSR, 100Stm/Std (%)		83.43					

ตาราง ค.14ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดโฟม

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.2	101.65	101.38	101.25	101.48	101.43
Diameter (in.)	D	3.98	4.00	3.99	3.99	4.00	3.99
Thickness (mm.)	t	65.5	65.45	65.26	67.5	64.3	65.85
Thickness (in.)	t	2.58	2.58	2.57	2.66	2.53	2.59
Dry mass in air	A	1234.5	1234.14	1234.22	1231.24	1213.46	1237.24
SSD Mass	B	1243.16	1243.22	1242.7	1240.02	1221.24	1245.2
Mass in water	C	718.26	718.54	717.85	716.46	705.52	719.12
Volume (B-C)	E	524.9	524.68	524.85	523.56	515.72	526.08
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.352	2.352	2.352	2.352	2.353	2.352
Max Sp.Gr.	Gmm	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.15	7.14	7.16	7.16	7.11	7.15
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.533	37.455	37.594	37.480	36.660	37.632
Load (lbs)	P				1887	1591	1538
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				113.46	100.20	94.62
Avg. Dry Tensile Strenght					102.76		
Thickness (mm.)	t"	65.5	65.45	65.26			
Thickness (in.)	t"	2.58	2.58	2.57			
SSD Mass	B"	1256.07	1255.68	1255.96			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.57	21.54	21.74			
%Saturated (100J"/I)		57.47	57.51	57.83			
Load (lbs)	P"	1224	1159	1248			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	75.88	71.59	77.51			
Avg. Wet Tensile Strenght			74.99				
TSR, 100Stm/Std (%)		66.88	71.45	81.92			
TSR, 100Stm/Std (%)			72.98				

ตาราง ค.15ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดโฟม

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.3	101.74	101.62	101.58	101.6	101.75
Diameter (in.)	D	3.99	4.01	4.00	4.00	4.00	4.01
Thickness (mm.)	t	66.52	65.5	67.2	67.4	64.98	64.8
Thickness (in.)	t	2.62	2.58	2.65	2.65	2.56	2.55
Dry mass in air	A	1237.54	1234.64	1243.16	1236.04	1229.24	1226.56
SSD Mass	B	1246.28	1244.96	1252.06	1244.86	1238.2	1237.94
Mass in water	C	713.94	713.98	717.28	713.06	709.44	710.44
Volume (B-C)	E	532.34	530.98	534.78	531.8	528.76	527.5
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.325	2.325	2.325	2.324	2.325	2.325
Max Sp.Gr.	Gmm	2.503	2.503	2.503	2.503	2.503	2.503
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.12	7.10	7.13	7.14	7.12	7.10
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.917	37.716	38.112	37.977	37.653	37.464
Load (lbs)	P				1520	1668	1360
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				91.23	103.82	84.76
Avg. Dry Tensile Strenght					93.27		
Thickness (mm.)	t"	66.52	65.5	67.2			
Thickness (in.)	t"	2.62	2.58	2.65			
SSD Mass	B"	1259.51	1256.59	1265.64			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.97	21.95	22.48			
%Saturated (100J"/I)		57.94	58.20	58.98			
Load (lbs)	P"	1041	964	967			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	63.48	59.44	58.19			
Avg. Wet Tensile Strenght		60.37					
TSR, 100Stm/Std (%)		69.58	57.26	68.65			
TSR, 100Stm/Std (%)		64.73					

ตาราง ค.16 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.64	101.48	101.72	100.60	101.00	101.00
Diameter (in.)	D	4.00	4.00	4.00	3.96	3.98	3.98
Thickness (mm.)	t	65.50	65.70	65.32	66.40	65.28	63.20
Thickness (in.)	t	2.58	2.59	2.57	2.61	2.57	2.49
Dry mass in air	A	1200.12	1213.58	1222.34	1228.82	1232.95	1221.47
SSD Mass	B	1209.44	1222.37	1231.65	1242.30	1244.4	1233.25
Mass in water	C	691.44	698.12	704.02	711.58	711.84	705.84
Volume (B-C)	E	518.00	524.25	527.63	530.72	532.57	527.41
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.317	2.315	2.317	2.315	2.315	2.316
Max Sp.Gr.	Gmm	2.494	2.494	2.494	2.494	2.494	2.494
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.10	7.18	7.11	7.16	7.17	7.14
Volume Airvoid (HE/100)	I	36.797	37.650	37.518	38.009	38.204	37.647
Load (lbs)	P				2453	2516	2413
Dry Strenght, 2P/ π tD (psi)	Std				150.90	156.81	155.34
Avg. Dry Tensile Strenght					154.35		
Thickness (mm.)	t"	65.50	65.70	65.32			
Thickness (in.)	t"	2.58	2.59	2.57			
SSD Mass	B"	1221.54	1235.37	1244.55			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.42	21.79	22.21			
%Saturated (100J"/I)		58.21	57.87	59.20			
Load (lbs)	P"	2052	2058	2035			
Wet Strenght, P/ π tD (psi)	Stm	126.66	126.84	125.86			
Avg. Wet Tensile Strenght		126.45					
TSR, 100Stm/Std (%)		83.93	80.89	81.02			
TSR, 100Stm/Std (%)		81.93					

ตาราง ค.17 ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.46	101.68	101.52	101.32	100.80	101.30
Diameter (in.)	D	3.99	4.00	4.00	3.99	3.97	3.99
Thickness (mm.)	t	64.72	65.00	64.88	65.30	65.30	65.30
Thickness (in.)	t	2.55	2.56	2.55	2.57	2.57	2.57
2.57Dry mass in air	A	1216.37	1195.89	1217.44	1225.38	1223.52	1227.78
SSD Mass	B	1226.09	1204.63	1227.22	1237.51	1235.76	1239.19
Mass in water	C	704.22	691.44	705.00	711.91	710.97	712.35
Volume (B-C)	E	521.87	513.19	522.22	525.60	524.79	526.84
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.331	2.330	2.331	2.331	2.331	2.330
Max Sp.Gr.	Gmm	2.510	2.510	2.510	2.510	2.510	2.510
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.14	7.16	7.12	7.12	7.11	7.15
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.260	36.740	37.184	37.401	37.332	37.685
Load (lbs)	P				1942	2066	2023
Dry Strenght, 2P/ π tD (psi)	Std				120.62	128.98	125.67
Avg. Dry Tensile Strenght					125.09		
Thickness (mm.)	t"	64.72	65.00	64.88			
Thickness (in.)	t"	2.55	2.56	2.55			
SSD Mass	B"	1237.39	1216.72	1238.54			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.02	20.83	21.10			
%Saturated (100J"/I)		56.41	56.70	56.74			
Load (lbs)	P"	1710	1716	1705			
Wet Strenght, P/ π tD (psi)	Stm	107.01	106.69	106.37			
Avg. Wet Tensile Strenght		106.69					
TSR, 100Stm/Std (%)		88.72	82.72	84.64			
TSR, 100Stm/Std (%)		85.29					

ตาราง ค.18 ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.52	101.18	101.42	101.10	101.30	101.40
Diameter (in.)	D	4.00	3.98	3.99	3.98	3.99	3.99
Thickness (mm.)	t	65.20	63.64	63.52	63.35	65.28	64.90
Thickness (in.)	t	2.57	2.51	2.50	2.49	2.57	2.56
Dry mass in air	A	1206.60	1214.29	1215.48	1223.92	1229.26	1224.67
SSD Mass	B	1215.00	1223.25	1224.51	1236.48	1242.14	1236.67
Mass in water	C	692.33	697.35	698.03	706.63	710.03	706.57
Volume (B-C)	E	522.67	525.90	526.48	529.85	532.11	530.11
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.309	2.309	2.309	2.310	2.310	2.310
Max Sp.Gr.	Gmm	2.487	2.487	2.487	2.487	2.487	2.487
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.18	7.16	7.17	7.12	7.11	7.12
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.507	37.645	37.747	37.723	37.836	37.768
Load (lbs)	P				2000	2064	2081
Dry Strenght, 2P/ π tD (psi)	Std				128.32	128.26	129.94
Avg. Dry Tensile Strenght					128.84		
Thickness (mm.)	t"	65.20	63.64	63.52			
Thickness (in.)	t"	2.57	2.51	2.50			
SSD Mass	B"	1228.23	1236.55	1235.71			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.63	22.26	20.23			
%Saturated (100J"/I)		57.67	59.13	53.59			
Load (lbs)	P"	1687	1716	1710			
Wet Strenght, P/ π tD (psi)	Stm	104.73	109.51	109.08			
Avg. Wet Tensile Strenght		107.77					
TSR, 100Stm/Std (%)		81.62	85.38	83.94			
TSR, 100Stm/Std (%)		83.65					

ตาราง ค.19 ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.60	100.60	100.54	101.30	100.62	101.60
Diameter (in.)	D	4.00	3.96	3.96	3.99	3.96	4.00
Thickness (mm.)	t	66.78	66.80	66.78	64.65	64.40	65.50
Thickness (in.)	t	2.63	2.63	2.63	2.55	2.54	2.58
Dry mass in air	A	1221.82	1219.41	1220.21	1228.78	1223.66	1232.56
SSD Mass	B	1237.13	1233.80	1234.54	1240.65	1235.08	1244.34
Mass in water	C	708.44	706.65	706.92	708.91	705.84	711.42
Volume (B-C)	E	528.69	527.15	527.62	531.74	529.24	711.42
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.311	2.313	2.313	2.311	2.312	2.313
Max Sp.Gr.	Gmm	2.490	2.490	2.490	2.490	2.490	2.490
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.19	7.10	7.12	7.19	7.14	7.11
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.999	37.427	37.576	38.254	37.810	37.916
Load (lbs)	P				2035	2041	2-52
Dry Strenght, 2P/πtD (psi)	Std				127.69	129.43	126.71
Avg. Dry Tensile Strenght					127.94		
Thickness (mm.)	t"	66.78	66.80	66.78			
Thickness (in.)	t"	2.63	2.63	2.63			
SSD Mass	B"	1244.13	1240.80	1241.54			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	22.31	21.39	21.33			
%Saturated (100J"/I)		58.71	57.15	56.77			
Load (lbs)	P"	1687	1652	1623			
Wet Strenght, P/πtD (psi)	Stm	102.17	101.02	99.33			
Avg. Wet Tensile Strenght		100.84					
TSR, 100Stm/Std (%)		80.02	78.05	78.40			
TSR, 100Stm/Std (%)		78.82					

ตาราง ค.20 ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.16	101.48	101.32	101.20	100.40	101.68
Diameter (in.)	D	3.98	4.00	3.99	3.98	3.95	4.00
Thickness (mm.)	t	64.28	65.00	65.00	64.30	64.95	64.63
Thickness (in.)	t	2.53	2.56	2.56	2.53	2.56	2.54
Dry mass in air	A	1196.29	1208.80	1209.92	1214.58	1222.93	1222.65
SSD Mass	B	1208.80	1219.51	1220.42	1226.36	1234.77	1234.54
Mass in water	C	694.16	699.32	699.83	703.70	708.63	708.33
Volume (B-C)	E	514.24	520.19	520.59	522.66	526.14	526.21
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.326	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324
Max Sp.Gr.	Gmm	2.503	2.503	2.503	2.503	2.503	2.503
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.13	7.16	7.15	7.16	7.14	7.17
Volume Airvoid (HE/100)	I	36.698	37.250	37.202	37.410	37.554	37.736
Load (lbs)	P				1524	1495	1583
Dry Strenght, 2P/πtD (psi)	Std				96.24	94.21	98.99
Avg. Dry Tensile Strenght					96.48		
Thickness (mm.)	t"	64.28	65.00	65.00			
Thickness (in.)	t"	2.53	2.56	2.56			
SSD Mass	B"	1217.40	1230.11	1231.42			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.11	21.31	21.50			
%Saturated (100J"/I)		58.16	57.21	57.79			
Load (lbs)	P"	1043	1055	1118			
Wet Strenght, P/πtD (psi)	Stm	65.91	65.72	69.76			
Avg. Wet Tensile Strenght		67.13					
TSR, 100Stm/Std (%)		68.49	69.76	70.47			
TSR, 100Stm/Std (%)		69.58					

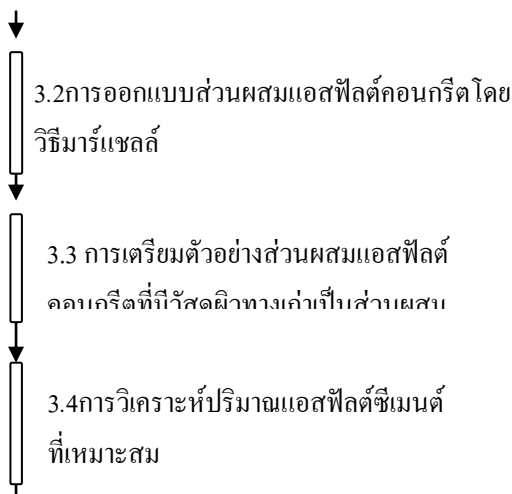
ประวัติผู้เขียน

นางสาวพิชญภรณ์ มาเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2534 ณ จังหวัดลพบุรี เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนสัตยาไส จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมจากโรงเรียนตากลิประชาสรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาระดับชั้นปริญญาตรีจากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ปี พ .ศ. 2556 ในระหว่างที่ทำการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มีความสนใจเกี่ยวกับแอสฟัลต์และเรื่องที่เกี่ยวข้อง จึงทำให้เกิดแรงจูงใจในการศึกษาต่อระดับปริญญาโท เพื่อเป็นการพัฒนาความรู้และความสามารถให้กับตนเอง หลังจากจบการศึกษาระดับปริญญาตรีจึงเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งในทันที

บทที่ 3

การดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างวัสดุผิวทางเก่า (RAP) และวัสดุมวลรวมใหม่ สำหรับชั้นทาง Binder Course ขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว หรือ 19 มิลลิเมตร หรือตามมาตรฐานชั้นทางที่ ทล.-ม.408/2532 เพื่อศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในการใช้วิธีการผสมอุ่น เปรียบเทียบกับวิธีการผสมร้อนที่อุณหภูมิผสมต่างๆ สามารถสรุปขั้นตอนการ ดำเนินการศึกษาดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา



3.2 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

3.2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์

ในการศึกษานี้ได้ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด 60/70 โดยได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐาน ตามมาตรฐานดังต่อไปนี้

- Penetration 25°C ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D5
- Flash Point ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D92
- Softening Point ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D36
- Ductility ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D113
- Solubility in Trichloroethylene ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D2042
- Specific Gravity ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D70

โดยผลการทดสอบแสดง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด 60/70

คุณสมบัติ	มาตรฐาน ที่ใช้อ้างอิง	ขอบเขตการทดสอบ		ผลการ ทดสอบ
		ต่ำสุด	สูงสุด	
Penetration @25 °C, 100 กรัม, 5 วินาที	ASTM D5	60	70	67
Flash Point (°C)	ASTM D92	232	-	334
Softening Point (C)	ASTM D36	45	55	47.2
Ductility @25°C (cm)	ASTM D113	100	-	>150
Solubility in Trichloroethylene (%wt)	ASTM D2042	99	-	99.97
Specific Gravity @25°C	ASTM D70	-	-	1.034

3.1.2 การศึกษาคุณสมบัติของสารผสมเพิ่ม

ในการศึกษานี้ได้ใช้เทคโนโลยีผสมปูน โดยการเติมสารผสมเพิ่ม ซึ่งได้แก่ สารผสมเพิ่มที่เป็นอินทรีย์ และสารผสมเพิ่มที่เป็นลักษณะ โฟม ซึ่งได้แก่

- สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ Sasobit® ได้จากการสังเคราะห์ Fischer-Tropsch จากถ่านหินหรือแก๊สธรรมชาติเมื่อดกลม สีขาวขุ่น มีขนาดประมาณ 5 มิลลิเมตร คุณสมบัติเด่นคือช่วยลดแรงเสียดทานของแอสฟัลต์ซีเมนต์เมื่ออุณหภูมิลดลง

- สารผสมเพิ่มชนิดโฟม มีลักษณะเป็นผงสีขาว ละเอียดคล้ายแป้ง มีน้ำหนักเบา ได้มาจากการบวนการสังเคราะห์ซีโอไลต์ (โซเดียมอลูมิเนียมซิลิเกต) มีน้ำเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างโมเลกุล คุณสมบัติช่วยในการเพิ่มปริมาตรเมื่ออุณหภูมิลดลงเช่นเดียวกัน

แต่สารผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิดนี้ให้คุณสมบัติเดียวกันคือ ช่วยในการบดอัดหรือทำงาน ได้ดีขึ้นที่อุณหภูมิผสมอุ่น แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สารผสมเพิ่มที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.3 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมใหม่ (Virgin Aggregate)

วัสดุมวลรวมใหม่ที่นำมาศึกษาเป็นชนิดหินปูน (Limestone) จากโรงโม่หินศิลาสากลพัฒนาอ.ปากช่อง จ. นครราชสีมา ในการศึกษานี้ได้ใช้มวลรวม ยุงหินร้อน (Hot Bin) 4 ขนาด ได้แก่ Hot Bin1 (หินฝุ่น), Hot Bin2 (3/8 นิ้ว), Hot Bin3 (1/2 นิ้ว) และ Hot Bin4 (3/4 นิ้ว) แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วัสดุมวลรวมใหม่ประเภทหินปูนที่ใช้ในการศึกษา

คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมใหม่

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมใหม่ ดังนี้

- ความถ่วงจำเพาะ (*Specific Gravity*) และการดูดซึมน้ำ (*Absorption*) ของมวลรวมหยาบ ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.207/2517 วิธีการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ

- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) และการดูดซึมน้ำ (Absorption) ของมวลรวมละเอียด ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.209/2518 วิธีการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด
- ความสึกหรอ (Abrasion) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.202/2515 วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion
- ค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.210/2518 วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index)
- ค่าดัชนีความยาว (Elongation Index) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.211/2518 วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index)
- ความคงทนต่อการกัดกร่อน (Soundness) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล. -ท.213/2531 วิธีการทดลองหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม โดยการใช้โซเดียมซัลเฟตหรือแมกนีเซียมซัลเฟต
- ค่าเทียบเท่าทราย (Sand Equivalent) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล. -ท.203/2515 วิธีการทดลองหาค่าเทียบเท่าทราย
- ขนาดผลของมวลรวม (Gradation) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.ม.205/2517 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล่าง

โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.2, 3.3 และรูปที่ 3.4

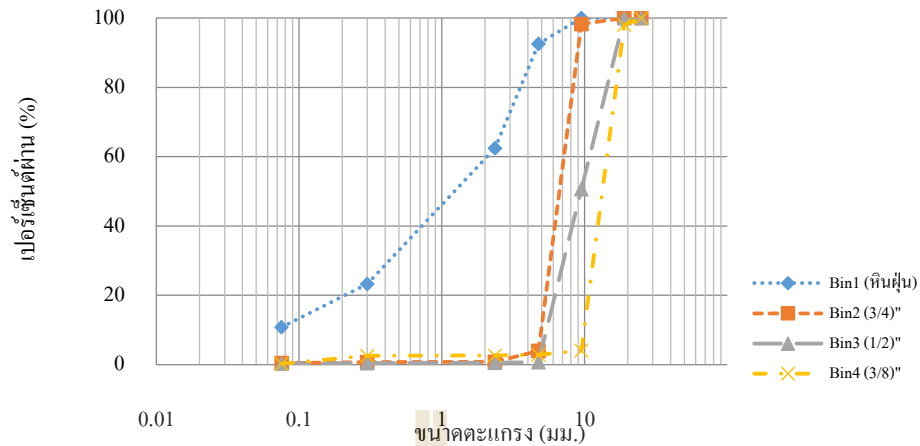
ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมใหม่

คุณสมบัติ	มวลรวมละเอียด	มวลรวมหยาบ		
		Bin 2 (3/8")	Bin 3 (1/2")	Bin 4 (3/4")
Bulk Specific Gravity	2.672	2.670	2.685	2.684
Apparent Specific Gravity	2.696	2.699	2.715	2.713
การดูดซึมน้ำ, absorption (%)	0.33	0.40	0.41	0.40
ความสึกหรอ, abrasion (%)	-	34.68	34.64	31.8

ค่าดัชนีความแบน, Flakiness Index (%)	-	27.96	26.49	21.26
ค่าดัชนีความยาว, Elongation Index (%)	-	22.98	23.68	23.12
ความทนต่อการกัดกร่อน, Soundness	-	0.36	0.40	
ค่าเทียบเท่าทราย, Sand Equivalent (%)	66.67	-	-	-

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบหาขนาดคละ(Gradation) ของวัสดุมวลรวมใหม่

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	%ผ่านตะแกรง			
	(Bin1) หินฝุ่น	(Bin2) 3/8"	(Bin3) 1/2"	(Bin4) 3/4"
1" (25)	100	100	100	100
3/4" (19)	100	100	100	98.41
3/8" (9.5)	100	98.56	57.21	9.28
No.4 (4.75)	92.46	4.99	0.72	8.37
No.8(2.36)	62.32	0.91	0.47	6.9
No.50(0.3)	23.27	0.76	0.19	5.24
No.200(0.075)	10.80	0.58	0.10	1.45



รูปที่ 3.4 ขนาดคละ(Gradation) ของวัสดุมวลรวมใหม่

3.1.4 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผิวทางเก่า

วัสดุผิวทางเก่า(RAP)ที่นำมาศึกษาได้มาจากผิวทางลาดยางของถนนสาย ทล .291ตอนทางเลี้ยวเมืองมหาสารคาม ช่วง กม.1+140ถึงกม.2+209คันทางด้านขวา จ.มหาสารคามโดยทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผิวทางเก่าดังนี้



รูปที่3.5วัสดุผิวทางเก่าที่ใช้ในการศึกษา

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์(Asphalt Content, %AC)ที่มีอยู่ในผิวทางเก่าโดยใช้วิธีการเผาในเตาอบ (Ignition Method)ตามมาตรฐานASTM D 6307Asphalt Content by Ignition Furnaceดังแสดงในตารางที่ 3.4 ตารางที่3.4ผลการทดสอบหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (%AC) ใน RAP จากการสุ่มตัวอย่าง

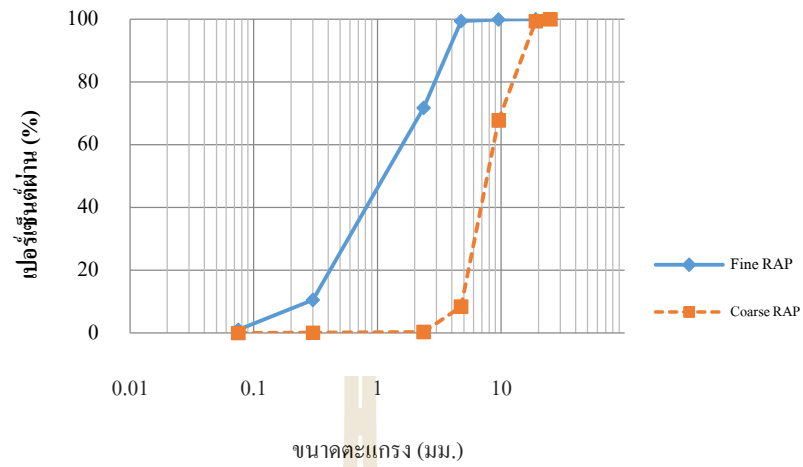
การทดสอบครั้งที่	%AC
1	3.38

2	3.37
3	3.37
ค่าเฉลี่ย	3.38
S.D.	0.5

ขนาดกะของวัสดุผิวทางเก่า(RAP)ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.ม.205/2517 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้างโดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.5, ตารางที่ 3.6,รูปที่3.6และรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.5การกระจายขนาดอนุภาคของวัสดุผิวทางเก่า(RAP)แบบไม่ล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	%ผ่านสะสม	
	Fine RAP	Coarse RAP
1" (25)	100	100
3/4" (19)	100	99.39
3/8" (9.5)	99.84	67.69
No.4 (4.75)	99.33	8.38
No.8(2.36)	71.67	0.31
No.50(0.3)	10.54	0.15
No.200(0.075)	1.07	0.05



รูปที่ 3.6 ขนาดคละของวัสดุผิวทางเก่า แบบไม่ล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์

ตารางที่ 3.6 การกระจายขนาดอนุภาคของวัสดุผิวทางเก่า(RAP)แบบล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	%ผ่านสะสม	
	Fine RAP	Coarse RAP
1" (25)	100	100
3/4" (19)	100	100
3/8" (9.5)	100	87.01
No.4 (4.75)	99.61	51.36
No.8 (2.36)	84.13	34.57
No.50 (0.3)	19.89	12.81
No.200 (0.075)	4.22	4.26

	หินฝุ่น	3/8"	1/2"	3/4"	RAP	RAP	(100%)	Binder Course 3/4 นิ้ว (19 มม.)
	(44%)	(20%)	(0%)	(36%)	(0%)	(0%)		
1" (25)	44	20		36			100	100
3/4" (19)	44	20		35.42			99.42	90-100
3/8" (9.5)	44	19.71		1.31			65.02	56-80
No.4 (4.75)	40.68	1		0.87			42.55	35-65
No.8 (2.36)	27.42	0.18		0.84			28.44	23-49
No.50 (0.3)	10.24	0.15		0.62			11.01	5-19
No.200 (0.075)	4.47	0.12		0.07			4.94	2-8

2 อัตราส่วนผสมผิวทางเก่า (RAP)ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 35:65 โดยส่วนผสมจะประกอบไปด้วยหินฝุ่น (Bin1)35%, มวลรวมขนาด 3/8" (Bin2)16%, มวลรวมขนาด3/4" (Bin4)29% วัสดุผิวทางเก่าละเอียด6%และวัสดุผิวทางเก่าหยาบ14%แสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่ 20:80

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรง						Combination Aggregate	มาตรฐาน ชั้นทาง Binder Course 3/4 นิ้ว (19 มม.)
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Fine	Coarse		
	หินฝุ่น	3/8"	1/2"	3/4"	RAP	RAP		
	(35%)	(16%)	(0%)	(29%)	(6%)	(14%)	(100%)	
1" (25)	35.2	16		29	6	14	100	100
3/4" (19)	35.2	16		28	6	14	99.54	90-100

3/8" (9.5)	35.2	15.77		1.05	6	12.18	70.20	56-80
No.4 (4.75)	32.55	0.8		0.69	5.98	7.19	47.20	35-65
No.8 (2.36)	21.94	0.15		0.67	5.05	4.84	32.64	23-49
No.50 (0.3)	8.19	0.12		0.49	1.19	1.79	11.79	5-19
No.200 (0.075)	3.8	0.09		0.06	0.25	0.60	4.8	2.8

อัตราส่วนผสมผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 35:65 โดยส่วนผสมจะประกอบไปด้วยหินฝุ่น (Bin1)29%, มวลรวมขนาด 3/8" (Bin2)13%, มวลรวมขนาด 3/4" (Bin4)23% วัสดุผิวทางเก่าละเอียด 10.5% และวัสดุผิวทางเก่าหยาบ 24.5% แสดงดังตารางที่ 3.9

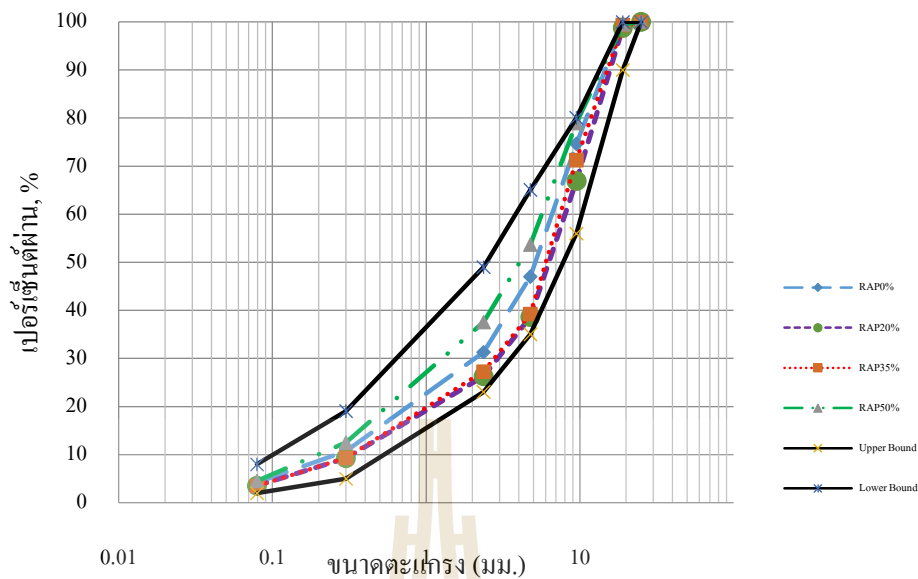
ตารางที่ 3.9 การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 35:65

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรง						Combination Aggregate	มาตรฐาน ชั้นทาง Binder Course 3/4 นิ้ว (19 มม.)
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Fine	Coarse		
	หินฝุ่น	3/8"	1/2"	3/4"	RAP	RAP		
	(29%)	(13%)	(0%)	(23%)	(10.5%)	(24.5%)	(100%)	
1" (25)	28.6	13		23.4	10.5	24.5	100	100
3/4" (19)	28.6	13		23.02	10.5	24.5	99.62	90-100
3/8" (9.5)	28.6	12.81		0.85	10.5	21.32	74.08	56-80
No.4 (4.75)	26.44	0.65		0.56	10.46	12.58	50.70	35-65
No.8 (2.36)	17.82	0.12		0.54	8.83	8.47	35.79	23-49
No.50 (0.3)	6.65	0.10		0.40	2.09	3.14	12.38	5-19
No.200 (0.075)	3.09	0.08		0.04	0.44	1.04	4.7	2.8

3. อัตราส่วนผสมผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 50:50 โดยส่วนผสมจะประกอบไปด้วยหินฝุ่น (Bin1) 22%, มวลรวมขนาด 3/8" (Bin2) 10%, มวลรวมขนาด 3/4" (Bin4) 18%, วัสดุผิวทางเก่าละเอียด 15% และ วัสดุผิวทางเก่าหยาบ 35% แสดงดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 50:50

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรง						Combination Aggregate	มาตรฐาน ชั้นทาง Binder Course 3/4 นิ้ว (19 มม.)
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Fine	Coarse		
	หินฝุ่น	3/8"	1/2"	3/4"	RAP	RAP	(100%)	
	(22%)	(10%)	(0%)	(18%)	(15%)	(35%)	(100%)	
1" (25)	22	10		18	15	35	100	100
3/4" (19)	22	10		17.71	15	35	99.71	90-100
3/8" (9.5)	22	9.86		0.66	15	30.35	77.97	56-80
No.4 (4.75)	20.34	0.50		0.43	14.94	17.98	54.19	35-65
No.8 (2.36)	13.71	0.09		0.42	12.62	12.10	38.94	23-49
No.50 (0.3)	5.12	0.08		0.31	2.98	4.48	12.97	5-19
No.200 (0.075)	2.38	0.06		0.03	0.63	1.49	4.59	2-8



รูปที่ 3.8 อัตราส่วนผสมชั้นทางBinder Courseขนาด ¼ นิ้ว

3.2.2 การประมาณความต้องการแอสฟัลต์ซีเมนต์ในส่วนผสม(P_b)

โดยในแต่ละอัตราส่วนวัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่ จะใช้ปริมาณแอสฟัลต์ในการผสมที่แตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ตามอัตราส่วนต่าง ๆ ที่มีปริมาณแอสฟัลต์เดิมอยู่ในวัสดุ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีอยู่เดิม และกำหนดหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการในส่วนผสม ดังสมการที่ 3.1 (FHWA, 2012)

$$P_b = 0.035a + 0.045b + Kc + F \quad (3.1)$$

- โดยที่ P_b = ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการในส่วนผสม (% โดยน้ำหนักของก้อนตัวอย่าง)
- a = % วัสดุมวลรวมที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมที่ค้ำตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (No.8)
- b = % วัสดุมวลรวมที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมที่ผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (No.8) และค้ำตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (No.200)
- c = % วัสดุมวลรวมที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร
- K = 0.15 เมื่อมวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร เป็นสัดส่วน 10-15%
- = 0.18 เมื่อมวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร เป็นสัดส่วน 6-10%
- = 0.20 เมื่อมวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร \leq 5%
- F = factor of aggregate มีค่าระหว่าง 0-2% ขึ้นอยู่กับชนิดการดูซึมของมวลรวม (ในกรณีไม่มีข้อมูลแนะนำให้ใช้ 0.7%)

จากนั้น ทำการคำนวณหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีอยู่เดิม ในแต่ละอัตราส่วนผสมต่างๆ จากการคำนวณพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการสำหรับอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม (RAP): มวลรวมใหม่ 0:100 (P_b) เท่ากับ 5.27% โดยน้ำหนักของส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (P_b) สำหรับอัตราส่วน RAP ต่อมวลรวมใหม่ 0:100

a	b	K	c	F	P_b (%)
71.56	23.5	0.2	4.94	0.7	5.27

จากการคำนวณพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการสำหรับอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม (RAP): มวลรวมใหม่ 20:80 (P_b) เท่ากับ 5.20% โดยน้ำหนักของส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (P_b) สำหรับอัตราส่วน RAP ต่อมวลรวมใหม่ 20:80

a	b	K	c	F	P_b (%)
67.36	427.8	0.2	4.8	0.7	5.20

จากการคำนวณพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการสำหรับอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม (RAP): มวลรวมใหม่ 35:65 (P_b) เท่ากับ 5.17% โดยน้ำหนักของส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (P_b) สำหรับอัตราส่วน RAP ต่อมวลรวมใหม่ 35:65

a	b	K	c	F	P_b (%)
64.21	31.09	0.2	4.7	0.7	5.17

จากการคำนวณพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการสำหรับอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม (RAP): มวลรวมใหม่ 40:60 (P_b) เท่ากับ 5.12% โดยน้ำหนักของส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (P_b) สำหรับอัตราส่วน RAP ต่อมวลรวมใหม่ 50:50

a	b	K	c	F	P_b (%)
61.06	34.35	0.2	4.59	0.7	5.12

3.2.2 การคำนวณหาปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการออกแบบก้อนตัวอย่าง

เมื่อทราบปริมาณแอสฟัลต์ที่ต้องการในส่วนผสม (P_b) จึงทำการคำนวณปริมาณส่วนผสมต่าง ๆ ดังสมการที่ 3.2 ถึง 3.4 (The Asphalt Institute Manual, 1986)

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - rP_{sb})P_b}{100(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}} \quad (3.2)$$

$$P_{sm} = \frac{100(100 - r)}{(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_b}{100 - P_{sb}} \quad (3.3)$$

$$P_{ns} = r - \frac{rP_b}{100} \quad (3.4)$$

โดยที่ P_{nb} = ปริมาณแอสฟัลต์ใหม่ที่ต้องการเพิ่มลงในส่วนผสม

P_{sm} = ปริมาณวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ที่ใช้ในส่วนผสม

P_{ns} = ปริมาณมวลรวมใหม่ที่ต้องการในส่วนผสม

r = ปริมาณของมวลรวมใหม่ตามอัตราส่วนที่กำหนด

P_{sb} = ปริมาณแอสฟัลต์ที่มีอยู่ในวัสดุผิวทางเก่า ($P_{sb}=3.38$)

P_b = ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ

ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการตามที่ได้จากการคำนวณตามสมการข้างต้น จะมีปริมาณที่แตกต่างกันออกไปตามอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม วัสดุมวลรวมใหม่ และ ปริมาณ แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ เมื่อออกแบบให้อัตราส่วนผสมทั้งหมดของก้อนตัวอย่างเป็น 100% สามารถสรุปออกมาได้ ดังตารางที่ 3.15 ถึง ตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.15 ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับ อัตราส่วนผสม วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่ เท่ากับ 0:100

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ(%), P_b	4.5	5.0	5.5
ปริมาณแอสฟัลต์(%), P_{nb}	4.5	5.0	5.5
RAP(%), P_{sm}	0	0	0
มวลรวมใหม่ (%) , P_{ns}	95.5	95.0	94.5
รวม (%)	100.0	100.0	100.0

ตารางที่ 3.16 ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับ อัตราส่วนผสม วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่ เท่ากับ 20:80

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ(%), P_b	4.5	5.0	5.5
ปริมาณแอสฟัลต์ (%), P_{nb}	3.6	4.0	4.4
RAP (%), P_{sm}	20.1	20.0	19.9
มวลรวมใหม่ (%) , P_{ns}	76.4	76.0	75.6
รวม (%)	100.0	100.0	100.0

ตารางที่3.17ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับ อัตราส่วนผสม วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่ เท่ากับ35:65

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ(%), P_b	4.5	5.0	5.5
ปริมาณแอสฟัลต์ (%), P_{nb}	3.15	3.5	3.85
RAP(%), P_{sm}	30.0	29.9	29.8
มวลรวมใหม่ (%) , P_{ns}	66.85	66.5	66.15
รวม (%)	100.0	100.0	100.0

ตารางที่3.18ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับ อัตราส่วนผสม วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่ เท่ากับ50:50

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ(%), P_b	4.5	5.0	5.5
ปริมาณแอสฟัลต์ (%), P_{nb}	2.7	3.0	3.3
RAP(%), P_{sm}	40.1	39.9	39.7
มวลรวมใหม่ (%) , P_{ns}	57.3	57.0	56.7
รวม (%)	100.0	100.0	100.0

3.5 การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม

โดยทำการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีมาร์แชลล์ตามมาตรฐาน ASTM D6926Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatusซึ่งออกแบบให้ก้อนตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มิลลิเมตร และสูง64มิลลิเมตร มีน้ำหนัก1,200กรัม จำนวน3ก้อนตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนผสมซึ่งในการศึกษานี้ ได้ออกแบบก้อนตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันตามอัตราส่วนวัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่ 4

อัตราส่วน (0:100, 20:80, 35:65 และ 50:50) โดยใช้วิธีการผสม 2 วิธี ได้แก่การผสมร้อน (HMA)และการผสมอุ่น (WMA) โดยในการผสมอุ่นใช้สารผสมเพิ่ม 2 ชนิด ที่เป็นสารอินทรีย์ (Sasobit®)และชนิดที่เป็นโพลีเมอร์ (Advera®) โดยใช้อุณหภูมิผสม 170, 150และ 130 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19รายการเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยมาร์แชลล์

วัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่	วิธีการผสม	อุณหภูมิที่ใช้ผสม (°C)
0:100	HMA	170
		150
		130
	WMA (Sasobit®)	170
		150
		130
	WMA (Advera®)	170
		150
		130
20:80	HMA	170
		150
		130
	WMA (Sasobit®)	170
		150
		130
	WMA (Advera®)	170
		150

		130
35:65	HMA	170
		150
		130
	WMA (Sasobit®)	170
		150
		130
	WMA (Advera®)	170
		150
		130

ตารางที่ 3.19รายการเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยมาร์แชลล์(ต่อ)

วัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่	วิธีการผสม	อุณหภูมิที่ใช้ผสม (°C)
50:50	HMA	170
		150
		130
	WMA (Sasobit®)	170
		150
		130
	WMA (Advera®)	170
		150
		130

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการผสมร้อน

วิธีการผสมร้อนเป็นวิธีการผสมที่ไม่มีการเติมสารผสมเพิ่มใด ๆ โดยทำการผสมและบดอัดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 170, 150 และ 130 องศาเซลเซียส เป็นจำนวน 75 ครั้งต่อด้าน ด้วยเครื่องบดอัดอัตโนมัติ HUMBOLDT MFG CO รุ่น H-1334BA.4F สูง 65 นิ้ว เป็นจำนวนด้านละ 75 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.9

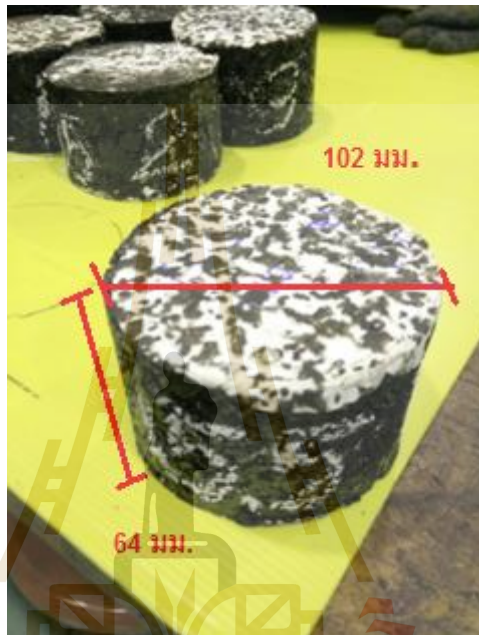


รูปที่ 3.9 เครื่องบดอัดอัตโนมัติ



รูปที่ 3.10 ตรวจสอบอุณหภูมิด้วย Thermometer Gun

จากรูปที่ 3.10 เป็นการตรวจสอบอุณหภูมิ ระหว่างการผสม วัสดุและแอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งในขั้นตอนนี้ อุณหภูมิอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้แต่ไม่ควรเกิน 5 องศาเซลเซียส จากวิธีการผสมและบดอัด เมื่อทำการบดอัดตัวอย่างเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นตัวลง แล้วดันตัวอย่างออกจากแบบหล่อ (Mold) แล้วทำการทดสอบคุณสมบัติโดยวิธีมาร์แชลล์ในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างที่ดันออกจากแบบหล่อ

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการผสมอุ่น

สำหรับวิธีการผสมอุ่นนั้น มีขั้นตอนการผสมเช่นเดียวกับวิธีการผสมร้อนดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.1 ไปข้างต้น แตกต่างกันเพียงแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมอุ่นจะต้องมีการผสมกันระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70 และสารผสมเพิ่ม ซึ่งได้แก่ Sasobit® และ Advera® โดยมีรายละเอียดการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการผสมอุ่นจำแนกตามชนิดของสารผสมเพิ่มดังนี้ ผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์เข้ากับสารผสมเพิ่มจำแนกตามชนิดสารผสมเพิ่มดังนี้

1. สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์(Sasobit®)

การเตรียมตัวอย่างทำโดยผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์เข้ากับสารผสมเพิ่มชนิด Sasobit® ด้วยประมาณ 3% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ทำการคอนอย่างต่อเนื่องจนสามารถสังเกตได้ว่า สารผสมเพิ่ม Sasobit® ละลายจนเป็นเนื้อเดียวกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เมื่อวัสดุเย็นตัวลงจะมีลักษณะผิวหน้าหรือผิวสัมผัสที่เปลี่ยนไปคล้าย

ขี้ผึ้ง (Wax) โดยรูปที่ 3.12ก และ ข แสดง การเปรียบเทียบผิวหน้าของแอสฟัลต์ซีเมนต์ก่อนและหลัง ผสมกับสารผสมเพิ่มSasobit® ตามลำดับ



(ก)(ข)

รูปที่ 3.12 (ก.) แอสฟัลต์ซีเมนต์ (ข.)แอสฟัลต์ซีเมนต์หลังจากที่มีการเติม Sasobit ®

2.สารผสมเพิ่มชนิด โฟม(Advera®)

การเตรียมตัวอย่างทำโดยการเติมAdvera®ประมาณ 0.25% โดยน้ำหนักก่อนตัวอย่างลงไป พร้อมวัสดุมวลรวมก่อนให้ความร้อนเป็นการผสมแห้ง (Dry Mixing) โดยทำการคลุกเคล้า Advera® ให้เข้ากันอย่างดีกับวัสดุมวลรวม ส่วนในขั้นตอนของการเติมแอสฟัลต์ซีเมนต์นั้น สามารถเติมลงในวัสดุได้โดยตรง เนื่องจากการผสมกันระหว่าง Advera®และวัสดุมวลรวมแล้ว



รูปที่ 3.13 การเตรียมตัวอย่างการผสม

3.6 การวิเคราะห์ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม

หลังจากทราบปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการออกแบบก่อนตัวอย่าง ในหัวข้อ 3.2 ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์หาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content; OAC) ด้วยเครื่องทดสอบมาร์แชลล์ ตามมาตรฐาน ASTM D 6927 Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures โดยพิจารณาความหนาแน่น (Density), ช่องว่างอากาศ (Air Voids,%), ช่องว่างถูกเติมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ (VFA,%), ช่องว่างในวัสดุรวมรวม (VMA,%), การไหล (Flow) และค่าเสถียรภาพ (Stability,lbs) โดยค่าเสถียรภาพ จะแสดงถึงความต้านทาน ต่อแรงกระทำ สูงสุดของ วัสดุโดยไม่เกิดแรงเฉือนระหว่างอนุภาค โดยในการศึกษาได้ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ที่แตกต่างกัน 3 ค่าในการวิเคราะห์หาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม โดยมี 1 ค่าที่มีค่าปริมาณมากกว่า ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (Pb) และมีอีก 1 ค่าที่มีค่าน้อยกว่าค่า Pb ที่คำนวณได้ ซึ่งได้แก่ 4.5%, 5% และ 5.5% โดยทำการเตรียมตัวอย่างจำนวน 2 ตัวอย่างต่อ 1 ค่าปริมาณแอสฟัลต์

จากนั้นนำก้อนตัวอย่างมาทำการทดสอบ หาความหนาแน่น, การไหล, เสถียรภาพ ร้อยละช่องว่างที่ถูกเติมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ และร้อยละช่องว่างในมวลรวม ตามข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ และพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอสฟัลต์กับความหนาแน่น การไหล เสถียรภาพ ร้อยละช่องว่างที่ถูกเติมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ และร้อยละช่องว่างในมวลรวมแสดงดังรูปที่ ก-1-ก36 ในภาคผนวก ก. ในการหาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content; OAC) โดยพิจารณาจากช่องว่างอากาศ ที่ 4% โดยผลการศึกษา ปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ที่เหมาะสม และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ที่ต้องการ (Pnb) แสดงดังตารางที่ 3.20

ตารางที่ 3.20 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ที่ต้องการ

วัสดุรวมเก่า: มวลรวมใหม่	วิธีการผสม	อุณหภูมิที่ใช้ผสม (°C)	แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (%OAC)	แอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ (%Pnb)
0:100	HMA	170	4.98	4.98
		150	5.03	5.03
		130	5.15	5.15
	WMA (Sasobit®)	170	4.71	4.71
		150	4.74	4.74
		130	4.91	4.91

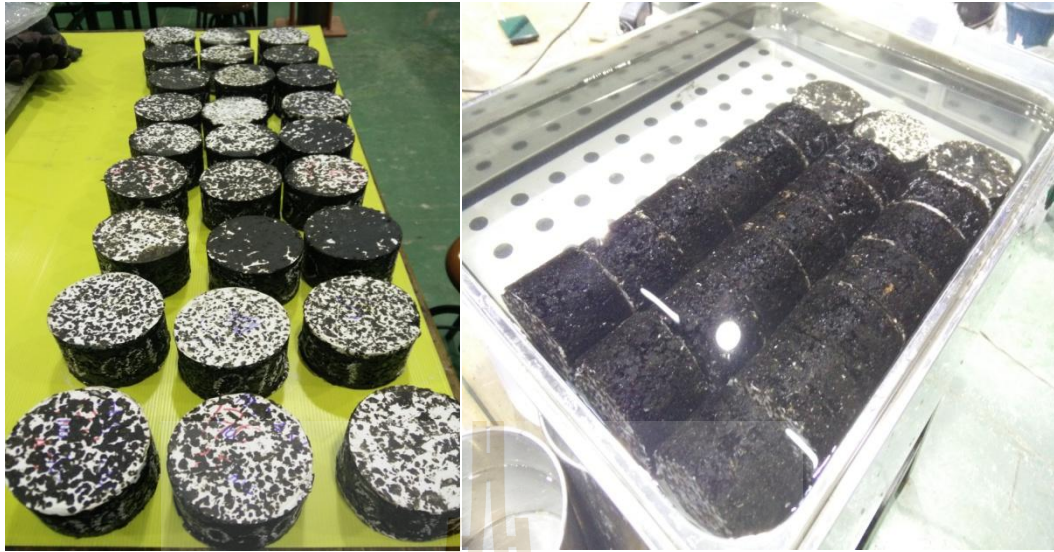
	WMA	170	4.97	4.97
	(Advera®)	150	4.99	4.99
		130	5.04	5.04
20:80	HMA	170	4.65	4.05
		150	4.69	4.09
		130	4.78	4.18
	WMA (Sasobit®)	170	4.71	4.11
		150	4.74	4.14
		130	4.91	4.31
	WMA (Advera®)	170	4.65	4.05
		150	4.75	4.15
		130	4.77	4.17
35:65	HMA	170	4.67	3.62
		150	4.68	3.63
		130	4.85	3.80
	WMA (Sasobit®)	170	4.85	3.80
		150	4.86	3.81
		130	5.00	3.95
	WMA (Advera®)	170	4.53	3.48
		150	4.67	3.62
		130	4.75	3.70

ตารางที่ 3.20 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ที่ต้องการ (ต่อ)

วัสดุรวมเก่า: มวลรวมใหม่	สารผสมเพิ่ม	อุณหภูมิที่ใช้ผสม (°C)	แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม	แอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่
50:50	HMA	170	4.58	3.08
		150	4.77	3.27
		130	4.91	3.41
	WMA (Sasobit®)	170	4.63	3.13
		150	4.80	3.30
		130	4.94	3.44
	WMA (Advera®)	170	4.60	3.10
		150	4.74	3.24
		130	4.88	3.35

3.5 การเตรียมก้อนตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบความไวต่อความชื้น

ในขั้นตอนนี้เป็นการจัดเตรียมก้อนตัวอย่างที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ทดสอบความไวต่อความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM D6926 Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall โดยก้อนตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มิลลิเมตร และสูง 64 มิลลิเมตร แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 สภาวะคือสภาวะเปียก (แฉ่น้ำ) และสภาวะแห้ง สภาวะละ 3 ก้อนตัวอย่าง ในแต่ละอัตราส่วนผสม แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ก่อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบความไวต่อความชื้น

สำหรับสภาวะเปียกทำโดยการจุ่ม ตัวอย่างให้จุ่มด้วยน้ำในช่วง 55 ถึง 80% ดังแสดงในรูปที่ 3.15 หลังจากนั้นจะนำก้อนตัวอย่างแช่ในอ่างน้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิอุณหภูมิที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และควบคุมอุณหภูมิในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิให้มี อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับ ก่อนทำการทดสอบ สำหรับสภาวะแห้งทำการควบคุมก้อนตัวอย่าง ให้มีอุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ก่อนทำการทดสอบ



รูปที่ 3.15 การเตรียมตัวอย่างในสภาวะเปียก

3.6 การทดสอบความไวต่อความชื้น

ในการศึกษานี้ได้ใช้วิธีการทดสอบแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength Test) ตามมาตรฐาน ASTM D6931 Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures โดย

กำหนดให้ Loading Strip ควรมีความกว้าง 12.70 ± 0.3 มม. สำหรับตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มม. และ Loading Strip ควรยาวกว่าความหนาของก้อนตัวอย่างและก้อนตัวอย่างควรมีความสูงอย่างน้อย 50.8 ± 5 มม./นาที่ จนกระทั่งก้อนตัวอย่างเกิดการวิบัติจึงบันทึกค่าแรงกระทำสูงสุด

การทดสอบแรงดึงทางอ้อมเป็นการให้แรงกระทำเป็นแรงอัด (Compaction Load) โดยสามารถให้แรงกระทำ 2 แบบ ได้แก่ แรงกระทำซ้ำ (Dynamic Load) และแรงกระทำคงที่ (Static Load) โดยการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธีให้แรงกระทำที่ ด้วยอัตรา 50 มม/นาที่ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.5

$$S_t = \frac{2P}{\pi Dt} \quad (3.5)$$

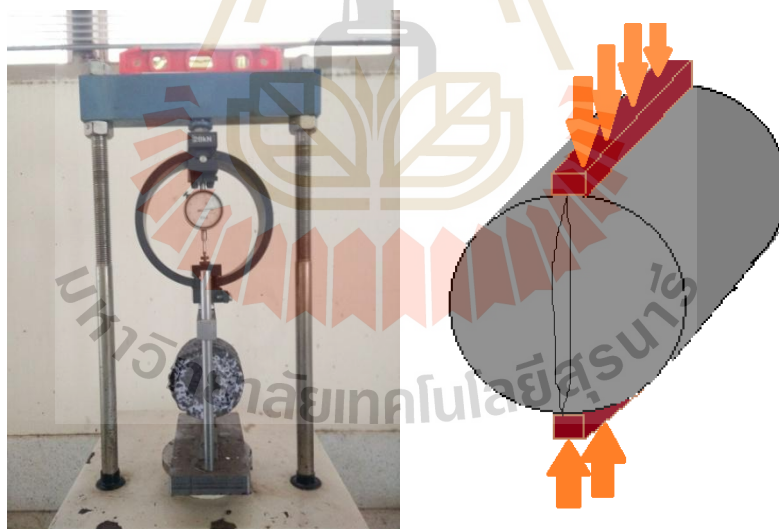
โดยที่

S_t = Tensile Stress, kPa (psi)

P = น้ำหนักที่กระทำก้อนตัวอย่าง, N (lbf)

t = ความสูงของก้อนตัวอย่างก่อนทดสอบ, mm. (in)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง, mm. (in)



รูปที่ 3.16 การทดสอบแรงดึงทางอ้อม

ในการพิจารณาแรงดึงทางอ้อมเฉลี่ยในสภาวะเปียกต่อสภาวะแห้งหรือค่า Tensile Strength Ratio (TSR) ตามมาตรฐาน ASTM D4867 Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixture โดยค่า TSR ควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 80%

จากนั้นคำนวณค่าสัดส่วนระหว่างแรงดึงทางอ้อมในสภาวะเปียกเทียบกับสภาวะแห้ง ดังสมการที่ 3.6 โดยค่า TSR มีค่าไม่ต่ำกว่า 80%

$$TSR = (S_m/S_{td}) 100 \quad (3.6)$$

โดยที่ TSR = Tensile Stress Ratio, %

S_m = ค่าเฉลี่ยของ tensile stress ในสภาวะเปียก

S_{td} = ค่าเฉลี่ยของ tensile stress ในสภาวะแห้ง

ในการวิเคราะห์โอกาสที่จะเกิดความเสียหายเนื่องจากความชื้น (Moisture Damage) จะพิจารณาค่า TSR ถ้า ส่วนผสมใดมีค่า %TSR สูงกว่าแสดงว่าจะมีความไวต่อความชื้น ในทำนองเดียวกันถ้ามีส่วนผสมใดมีค่า TSR ที่ต่ำ แสดงว่าส่วนผสมนั้นมีโอกาสเกิดความเสียหายเนื่องจากความชื้น ได้สูงกว่า

3.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 เป็นการวิเคราะห์ผลการศึกษารอบการออกแบบอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ เปรียบเทียบ อัตราส่วนระหว่างวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่ที่แตกต่างกัน 4 อัตราส่วนผสมและเปรียบเทียบ วิธีการผสมและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น รายละเอียดแสดงดังบทที่ 4

บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์

ในบทนี้เป็นการรวบรวมผลการศึกษา และวิเคราะห์ผลการศึกษาจากการออกแบบ ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม โดยวิธีผสมอุ่น และผลการทดสอบ ความไวต่อความชื้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม

จากการทดสอบส่วนผสมโดยวิธีมาร์แชลล์ทั้งหมด 36 สูตรส่วนผสม (Job Mix Formula; JMF) โดยมีอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผิว ทางเก่าต่อวัสดุรวมใหม่ทั้งหมด 4 อัตราส่วน ได้แก่ 0:100, 20:80, 35:65 และ 50:50 และผสมที่อุณหภูมิ 3 ผสม ได้แก่ 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส และใช้สารผสมเพิ่มที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ การไม่ใช้สารผสมเพิ่ม , การใช้สารผสมเพิ่มที่เป็น สารอินทรีย์ (Sasobit®) และ การใช้สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์ (Advera®) โดยผลการทดสอบทั้งหมด 36 สูตรส่วนผสม (Job Mix Formula; JMF) แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อใช้ ปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ที่เหมาะสม

ผิวทางเก่า: วัสดุรวมใหม่	การใช้ สารผสม เพิ่ม	อุณหภูมิ ที่ใช้ผสม (°C)	Optimum AC (%)	Air Void (%) (3-6%)*	Stability (lb) (≥1,800)*	Flow (1/100") (8-16)*	Stability /Flow (≥160)*	VMA (%) (≥13)*	VFA (%)	Density (gm/ml)
0:100	ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม	170	4.98	4.07	2172	12.00	181.00	14.26	71.44	2.410
		150	5.03	4.01	2153	11.52	186.89	14.31	71.95	2.409
		130	5.15	3.89	1979	8.56	231.19	14.43	73.08	2.409
	Sasobit®	170	4.71	4.03	2234	14.47	161.30	13.68	70.56	2.420
		150	4.74	4.15	2195	13.68	160.45	13.85	70.04	2.415
		130	4.91	4.04	2114	12.70	166.46	14.09	71.34	2.413
	Advera®	170	4.97	4.03	1966	11.71	167.89	14.20	71.62	2.411
		150	4.99	4.15	1999	11.52	173.52	14.35	71.09	2.407
		130	5.04	4.04	1981	12.30	161.06	14.35	71.84	2.408

*ข้อกำหนดสำหรับชั้นทาง Binder Course 3/4" ตามมาตรฐานงานทาง ทล.-ม 408/2532

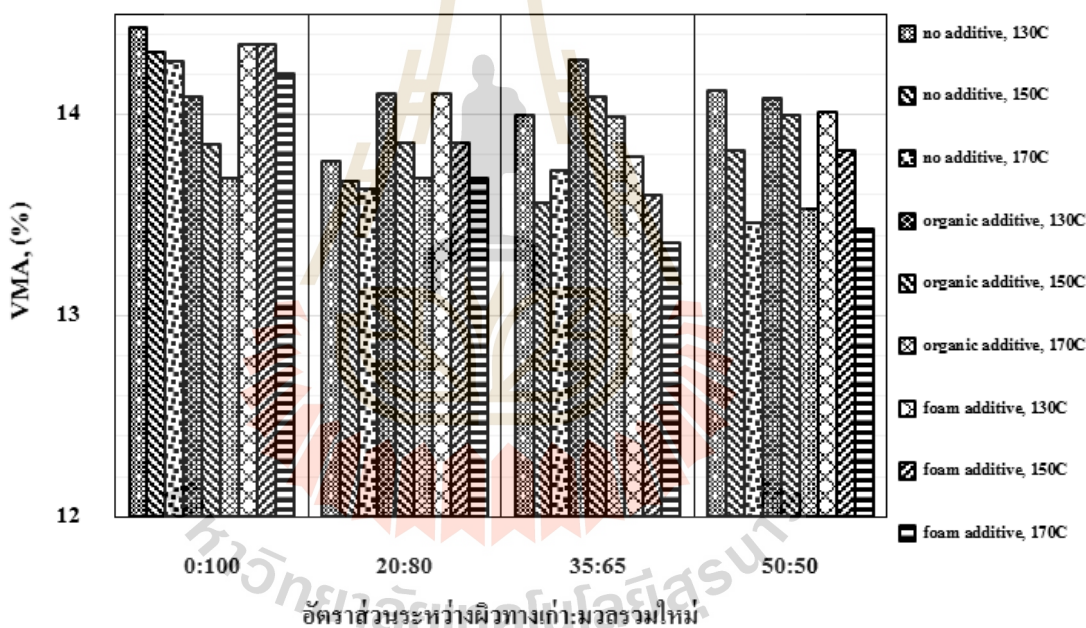
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อใช้ ปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ที่เหมาะสม (ต่อ)

ผิวทาง เก่า:วัสดุ มวลรวม ใหม่	การใช้ สารผสม เพิ่ม	อุณหภูมิ ที่ใช้ผสม (°C)	Optimum AC (%)	Air Void (%) (3-6%)*	Stability (lb) (≥1,800)*	Flow (1/100") (8-16)*	Stability /Flow (≥160)*	VMA (%) (≥13)*	VFA (%)	Density (gm/ml)
20:80	ไม่ใช้สาร ผสมเพิ่ม	170	4.65	4.10	2415	13.29	181.72	13.63	69.90	2.420
		150	4.69	4.06	2243	12.50	179.44	13.67	70.31	2.419
		130	4.78	3.97	2022	12.30	164.39	13.77	71.15	2.419
	Sasobit®	170	4.71	4.03	2361	12.60	187.38	13.68	70.56	2.419
		150	4.74	4.15	2397	12.50	191.76	13.86	70.02	2.415
		130	4.91	4.04	2419	13.39	180.66	14.10	71.32	2.413
	Advera®	170	4.65	3.96	2153	12.89	167.03	13.68	70.66	2.423
		150	4.75	4.11	2230	12.89	173.00	13.86	70.26	2.416
		130	4.77	3.91	2138	13.09	163.33	14.10	71.45	2.421
35:65	ไม่ใช้สาร ผสมเพิ่ม	170	4.67	4.16	2349	12.64	185.84	13.72	69.69	2.418
		150	4.68	3.96	2333	12.30	189.67	13.56	70.80	2.422
		130	4.85	4.07	2321	11.91	194.88	14.00	70.93	2.414
	Sasobit®	170	4.85	4.06	2132	12.11	176.05	13.99	70.98	2.414
		150	4.92	4.01	2222	12.70	174.96	14.09	71.52	2.413
		130	5.00	4.04	2429	12.50	194.32	14.27	71.69	2.409
	Advera®	170	4.53	4.07	2108	10.73	196.46	13.36	69.53	2.425
		150	4.67	4.02	2183	11.02	198.09	13.60	70.42	2.421
		130	4.75	4.05	2096	10.93	191.77	13.79	70.59	2.418
50:50	ไม่ใช้สาร ผสมเพิ่ม	170	4.58	4.07	2075	8.76	236.87	13.46	69.75	2.423
		150	4.74	4.11	2059	9.06	227.26	13.82	70.25	2.417
		130	4.91	4.07	1872	9.05	198.10	14.12	71.19	2.412
	Sasobit®	170	4.63	4.03	2434	8.76	277.85	13.53	70.18	2.422
		150	4.80	4.16	2143	9.06	236.53	14.00	70.25	2.413
		130	4.94	3.96	1901	9.94	191.25	14.08	71.88	2.414
	Advera®	170	4.60	4.00	2470	8.76	281.96	13.43	70.23	2.424
		150	4.74	4.12	2040	8.96	227.68	13.82	70.22	2.416
		130	4.85	4.08	1906	10.14	187.97	14.01	70.90	2.414

*ข้อกำหนดสำหรับชั้นทาง Binder Course 3/4" ตามมาตรฐานงานทาง ทล.-ม 408/2532

4.1.1 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาค (VMA)

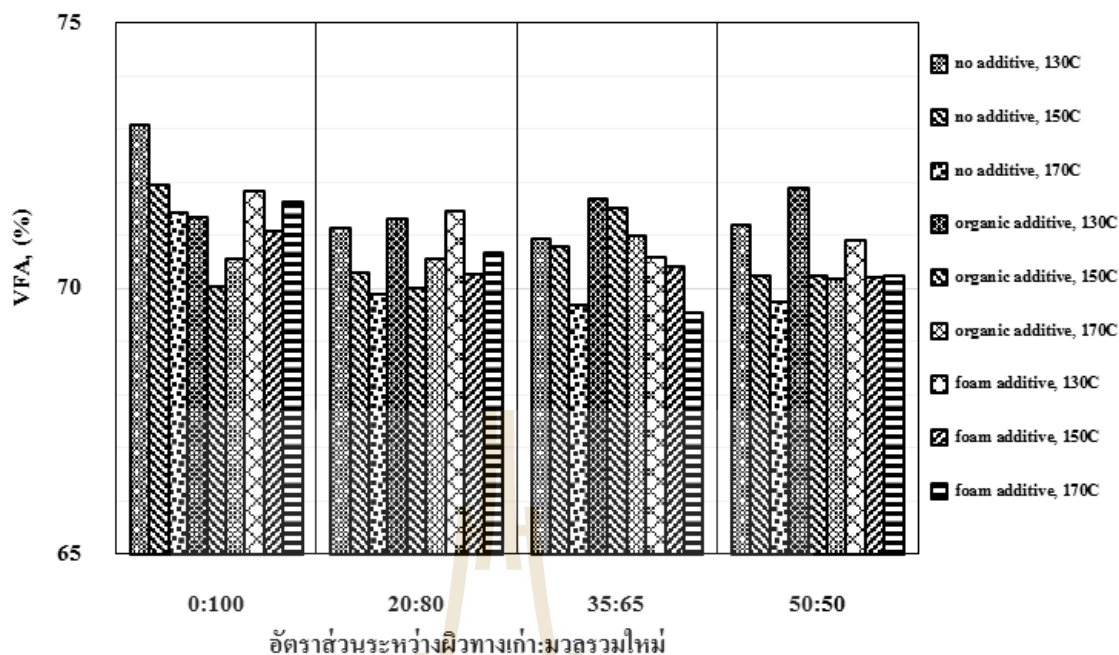
เมื่อพิจารณาการใช้สารผสมเพิ่มและการใช้อัตราส่วนระหว่างผิวทางเก่าและมวลรวมใหม่ เดียวกันพบว่าแนวโน้มนั้เปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลงเมื่ออุณหภูมิผสมเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิผสมเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการเคลือบผิวมวลรวมและดูดซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างอนุภาค (Void in Mineral Aggregate, VMA) สูงตามไปด้วย อีกทั้งพบว่าการใช้สารผสมเพิ่มจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาคสูงที่สุด อาจอธิบายได้ว่าการที่วัสดุผิวทางเก่ามีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์อยู่เดิมจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีค่าต่ำ เนื่องจากมีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เก่าบางส่วนที่ถูกดูดซึมเข้าไปอยู่ในมวลรวมเดิมและถูกเติมเต็มเพิ่มด้วยยางแอสฟัลต์ใหม่ โดยผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาคของทั้ง 36 สูตรส่วนผสมแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาคจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่

4.1.2 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA)

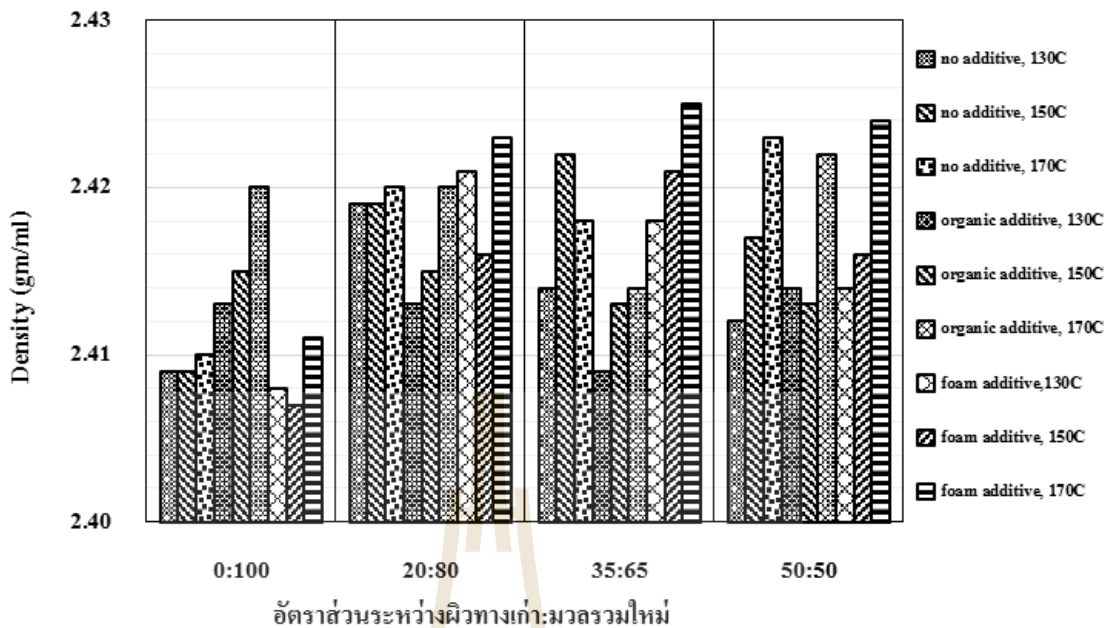
เมื่อพิจารณาการใช้สารผสมเพิ่มและการใช้อัตราส่วนระหว่างผิวทางเก่าและมวลรวมใหม่ เดียวกันพบว่า สัดส่วนวัสดุที่ไม่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมมีเปอร์เซ็นต์ช่องว่างที่ถูกเติมด้วยแอสฟัลต์ (Void Filled with Asphalt, VFA) สูงที่สุด อาจเนื่องมาจากส่วนผสมไม่มีแอสฟัลต์ซีเมนต์เดิมจึงทำให้มี ปริมาตรช่องว่างสำหรับแอสฟัลต์ มากเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมซึ่งมีปริมาณแอสฟัลต์เก่าเป็นส่วนประกอบอยู่แล้วบางส่วน โดยผลการทดสอบช่องว่างอากาศส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ของทั้ง 36 สูตรส่วนผสมแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์
จำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่

4.1.3 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น

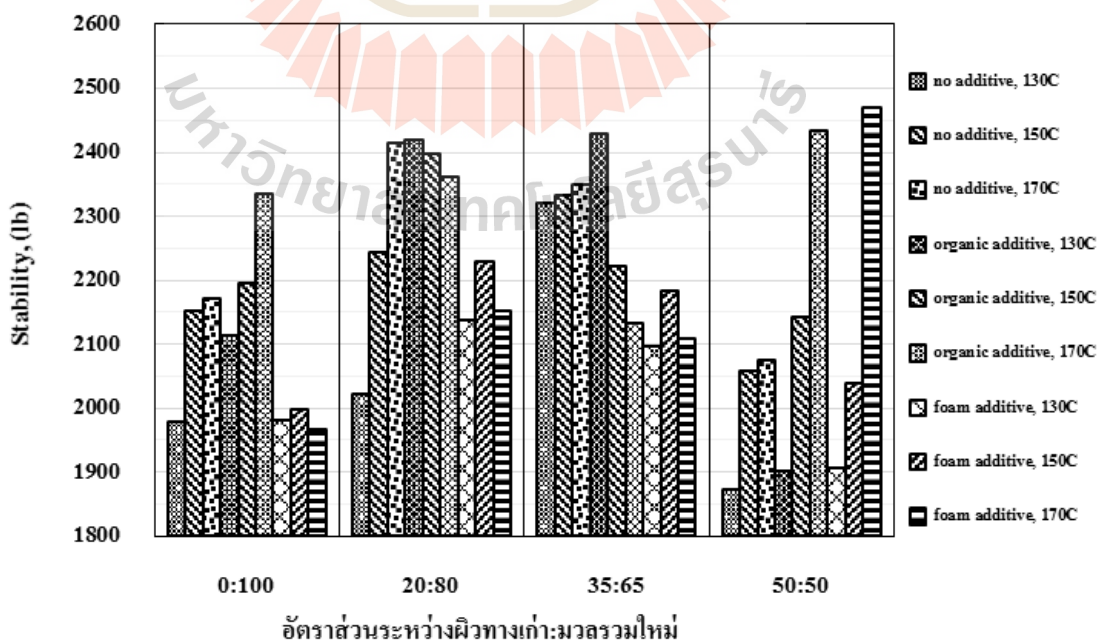
เมื่อพิจารณาสัดส่วนการใช้วัสดุผิวทางเก่าที่แตกต่างกันพบว่าตัวอย่างที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมมีค่าความหนาแน่นสูงกว่า เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาคเปอร์เซ็นต์และช่องว่างอากาศส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) ต่ำกว่าส่วนผสมที่ไม่ใช้วัสดุผิวทางเก่าวัสดุผิวทางเก่า จึงส่งผลให้มีความหนาแน่นสูงกว่าโดยผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ช่องว่างที่ถูกเติมด้วยแอสฟัลต์ของทั้ง 36 สูตรส่วนผสมแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความหนาแน่นจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่

4.1.4 การวิเคราะห์ค่าเสถียรภาพ

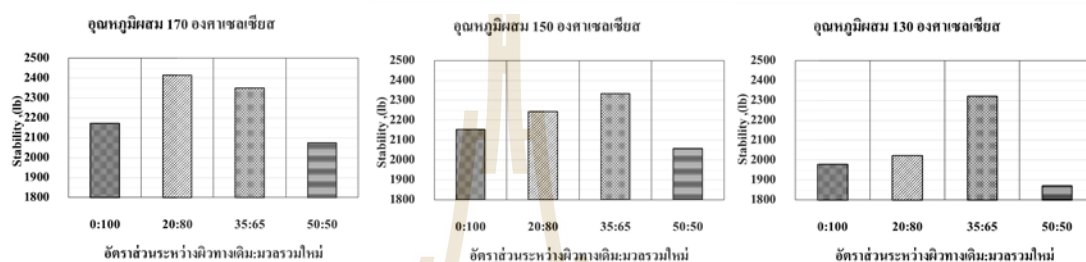
ในส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบค่าเสถียรภาพที่ได้จากการใช้สารผสมเพิ่ม, อุณหภูมิผสม, และสัดส่วนผิวทางเก่าที่แตกต่างกัน โดยผลการทดสอบค่าเสถียรภาพของทั้ง 36 สูตรส่วนผสม แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่าเสถียรภาพจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่

4.1.4.1 การวิเคราะห์ค่าเสถียรภาพเมื่อพิจารณาการใช้สารผสมเพิ่มชนิดเดียวกัน

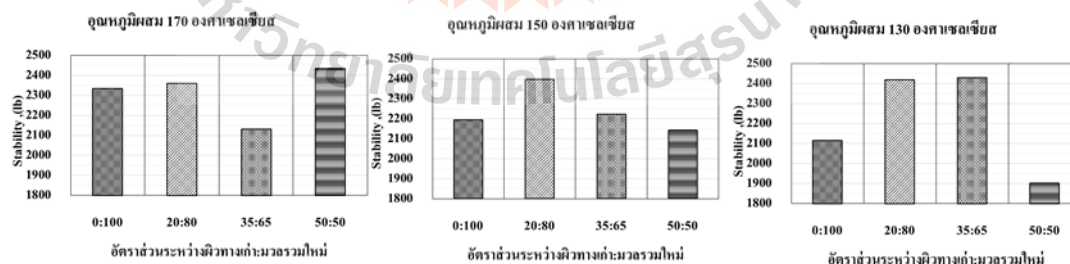
เมื่อพิจารณาวิธีการไม่ใช้สารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมพบว่า แนวโน้มค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้นเมื่อมีฟิวทาเกาเป็นส่วนผสม และลดลงเมื่อสัดส่วนการใช้ฟิวทาเกามีปริมาณ 50% ที่อุณหภูมิผสม 150 และ 130 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.5 (ข) และ (ค) ตามลำดับ แต่แนวโน้มค่าเสถียรภาพลดลงเมื่อสัดส่วนการใช้ฟิวทาเกามีปริมาณ 35% ที่อุณหภูมิผสม 170 โดยที่อุณหภูมิการผสม 170 องศาเซลเซียส ให้ค่าเสถียรภาพสูงที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.5(ก)(ข)และ(ค)



(ก) (ข)(ค)

รูปที่ 4.5 ค่าเสถียรภาพเมื่อไม่ใช้สารผสมเพิ่ม

เมื่อพิจารณาวิธีการใช้สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์พบว่า แนวโน้มค่าเสถียรภาพยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อมีฟิวทาเกาเป็นส่วนผสม และลดลงเมื่อสัดส่วนการใช้ฟิวทาเกามีปริมาณ 50% เมื่อตัวอย่างถูกผสมที่อุณหภูมิ 150 และ 130 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.6 (ข) และ (ค) ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิการผสม 170 องศาเซลเซียส พบว่าสัดส่วนการใช้ฟิวทาเกา 50% ให้ค่าเสถียรภาพสูงที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.6 (ก)

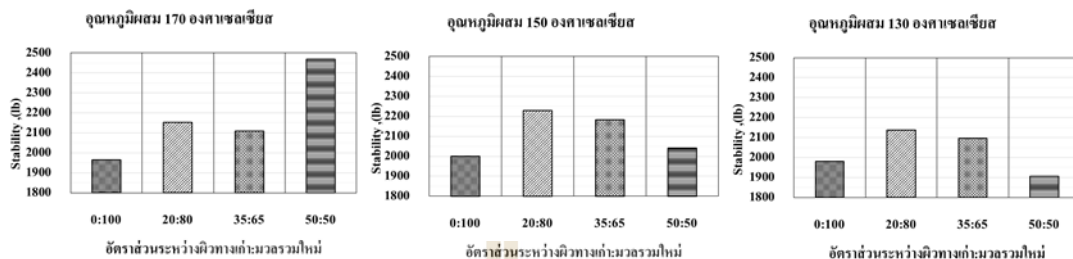


(ก) (ข)(ค)

รูปที่ 4.6 ค่าเสถียรภาพเมื่อใช้สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

เมื่อพิจารณาการใช้สารผสมเพิ่มชนิดโพลี พบว่า แนวโน้มค่าเสถียรภาพยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อมีฟิวทาเกาเป็นส่วนผสม แล้วลดลงเมื่อสัดส่วนการใช้ฟิวทาเกามีปริมาณ 50% เมื่อตัวอย่างถูกผสม

ที่อุณหภูมิ 150 และ 130 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.7 (ข)และ(ค)ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการใช้สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ แต่เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิการผสม 170 องศาเซลเซียส พบว่าแนวโน้มค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้สัดส่วนผิวทางเก่ามากขึ้นแสดงดังรูปที่4.7(ก)

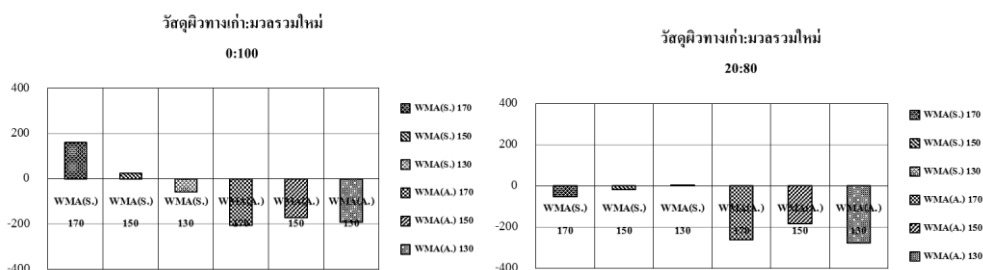


(ก) (ข)(ค)

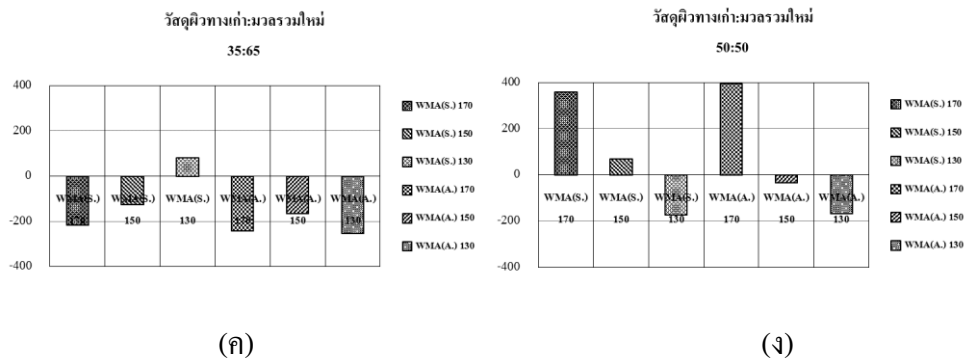
รูปที่ 4.7ค่าเสถียรภาพเมื่อใช้สารผสมเพิ่มชนิดโพน

4.1.4.2 การวิเคราะห์ค่าเสถียรภาพเมื่อพิจารณาวิธีการผสมที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนที่มีส่วนผสมของผิวทางเก่าที่อุณหภูมิผสม 170, 150 และ 130 องศาเซลเซียส ที่ถูกเทียบกับตัวอย่างที่ถูกผสมด้วยวิธีการผสมร้อน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการเปรียบเทียบเป็นการแสดงความแตกต่างโดยการนำค่าเสถียรภาพที่ได้จากวิธีการผสมร้อน ลบกับค่าเสถียรภาพที่ได้จากวิธีการผสมอุ่นที่มีสารผสมเพิ่มและอุณหภูมิผสมที่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อผลความแตกต่างของค่าเสถียรภาพที่ได้มีค่าใกล้ 0 แสดงว่าที่วิธีการผสมและอุณหภูมินั้นให้ค่าเสถียรภาพใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ถูกผสมด้วยวิธีการผสมร้อน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสถ้าค่าเป็นบวก (+) แสดงว่าที่วิธีการผสมและอุณหภูมินั้นให้ค่าเสถียรภาพมากกว่าตัวอย่างที่ถูกผสมด้วยวิธีการผสมร้อน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสในทางตรงข้ามถ้าค่าติดลบ (-) แสดงว่าที่วิธีการผสมและอุณหภูมินั้นให้ค่าเสถียรภาพน้อยกว่าตัวอย่างที่ถูกผสมด้วยวิธีการผสมร้อน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสซึ่งผลความแตกต่างของค่าเสถียรภาพแสดงดังรูปที่ 4.8



(ก) (ข)

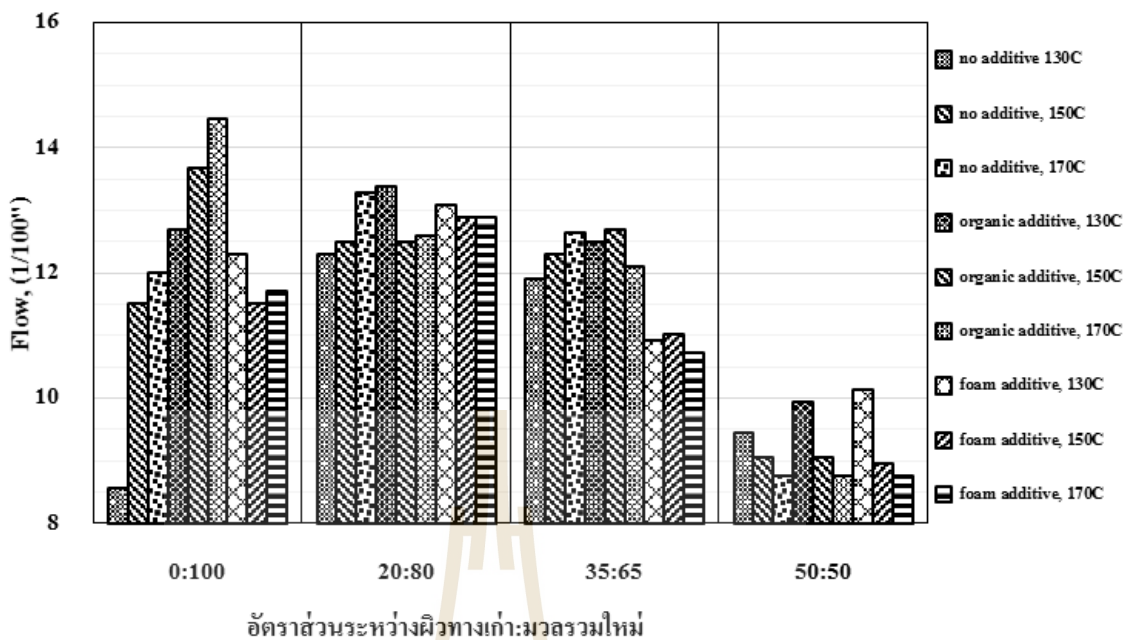


รูปที่ 4.8 ความแตกต่างของค่าเสถียรภาพจากการตัวอย่างที่ใช้สารผสมเพิ่มเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการใช้สารผสมเพิ่มที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.8(ก) พบว่าการไม่ใช้วัสดุผิวทางเก่าและใช้สารผสมเพิ่มชนิดอินทรี (Sasobit®) ให้ค่าเสถียรภาพมากกว่าหรือใกล้เคียงกับค่าเสถียรภาพที่ได้จากตัวอย่างที่ไม่มีสารผสมเพิ่มที่อุณหภูมิผสม 170 องศาเซลเซียส ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับการใช้วัสดุผิวทางเก่า 50% ดังรูปที่ 4.8(ง) อีกทั้งการใช้วัสดุผิวทางเก่าผสมกับสารผสมเพิ่มชนิดโพลี และผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ให้ค่าเสถียรภาพได้สูงกว่าการไม่ใช้สารผสมเพิ่มที่อุณหภูมิผสมเดียวกัน ในขณะที่การใช้วัสดุผิวทางเก่า 20% ดังรูปที่ 4.8(ข) ได้ค่าเสถียรภาพน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารผสมเพิ่มที่อุณหภูมิผสม 170 องศาเซลเซียส ในขณะที่เมื่อใช้วัสดุผิวทางเก่าเป็น 35% และผสมที่ 130 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ค่าเสถียรภาพมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารผสมเพิ่มที่อุณหภูมิผสม 170 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.8(ค)

4.1.5 การวิเคราะห์ค่าการไหล

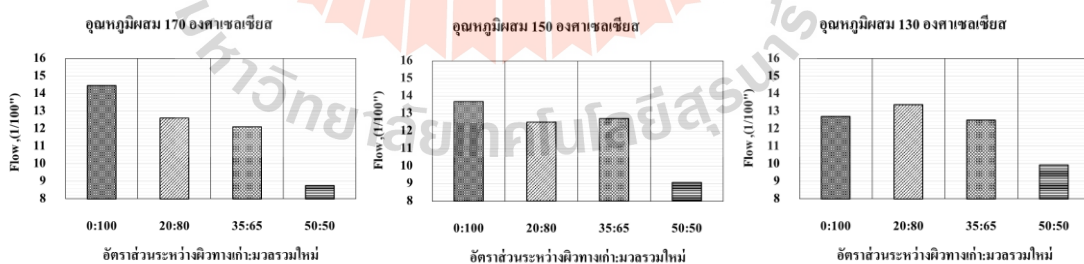
ในส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบค่า การไหลที่ได้จากการใช้สารผสมเพิ่ม, อุณหภูมิผสม, และสัดส่วนผิวทางเก่าที่แตกต่างกัน โดยค่าการไหลนี้เป็นค่าที่สามารถบ่งบอกถึงความยืดหยุ่น แต่ค่าการไหลมีค่ามากเกินไปจะนำไปสู่ความเสียหายที่เกิดจากการยุบตัว กล่าวคือหากวัสดุผิวทางเก่ามีค่าการไหลสูง จะมีความยืดหยุ่นสูงตามไปด้วยจึงง่ายต่อการเสียรูปส่งผลให้มีโอกาสในการเกิดความเสียหายจากการยุบตัวถาวรได้มาก แต่หากวัสดุมีค่าการไหลต่ำเกินไปวัสดุจะมีความแข็งแกร่งสูง อาจก่อให้เกิดความเสียหายจากการแตกร้าวได้โดยผลการทดสอบค่าการไหลของทั้ง 36 สูตร ส่วนผสมแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ค่าการไหลจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่

4.1.5.1 การวิเคราะห์ค่าการไหลเมื่อพิจารณาการใช้สารผสมเพิ่มชนิดเดียวกัน

เมื่อพิจารณาวิธีการไม่ใช้สารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมพบว่า แนวโน้มค่าการไหลเพิ่มขึ้นเมื่อมีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม แล้วลดลงเมื่อสัดส่วนการใช้ผิวทางเก่ามีปริมาณ 35% โดยที่อุณหภูมิการผสม 170 องศาเซลเซียส ให้แนวโน้มค่าการไหลสูงที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.10(ก)(ข)และ(ค)

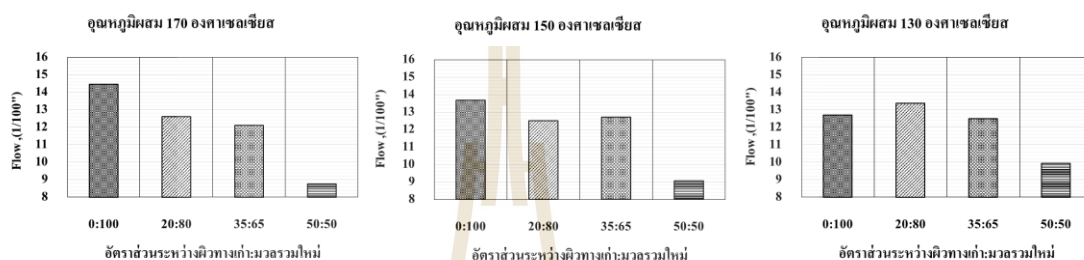


(ก) (ข)(ค)

รูปที่ 4.10 ค่าการไหลเมื่อไม่ใช้สารผสมเพิ่ม

เมื่อพิจารณาวิธีการใช้สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์และทำการผสมที่ 170 องศาเซลเซียส พบว่าแนวโน้มค่าการไหลลดลงเมื่อมีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมมากขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.11(ก) แต่เมื่อลดอุณหภูมิในการผสมลงให้เป็น 150 องศาเซลเซียส พบว่าที่สัดส่วนวัสดุผิวทางเก่า 20% ให้ค่าการ

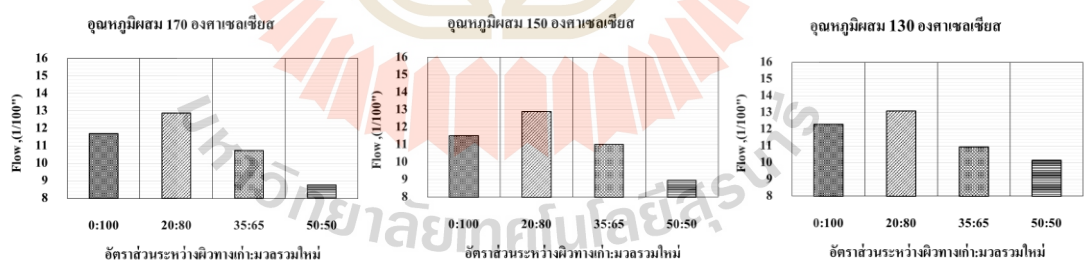
ไหลลดลงและน้อยกว่าสัดส่วนวัสดุผิวทางเก่า 35% ดังรูปที่ 4.11(ข) แต่เมื่อทำการลดอุณหภูมิในการผสมให้ต่ำลงเป็น 130 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการไหลในวัสดุที่ไม่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมมีค่าการไหลลดลงทำให้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่สัดส่วนการใช้ผิวทางเก่า 20% และลดลงเมื่อปริมาณผิวทางเก่าเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.11 (ค) จากผลการทดสอบสังเกตได้ว่าเมื่อ ไม่ใช้วัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมจะ ให้ค่าการไหลลดลงเมื่ออุณหภูมิผสมลดลง แต่ขณะเดียวกันการใช้วัสดุผิวทางเก่า 50% ให้ค่าการไหลเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการผสมลดลงแสดงดังรูปที่ 1(ก)(ข)และ(ค)



(ก) (ข)(ค)

รูปที่ 4.11 ค่าการไหลเมื่อใช้สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

เมื่อพิจารณาวิธีการใช้สารผสมเพิ่มชนิดโพลี พบว่า แนวโน้มค่าไหลการมีทิศทางเพิ่มขึ้นเมื่อมีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น แล้วลดลงเมื่อสัดส่วนการใช้ผิวทางเก่ามีปริมาณ 35% เช่นเดียวกับการไม่เติมสารผสมเพิ่ม แสดงดังรูปที่ 12(ก)(ข)และ(ค)



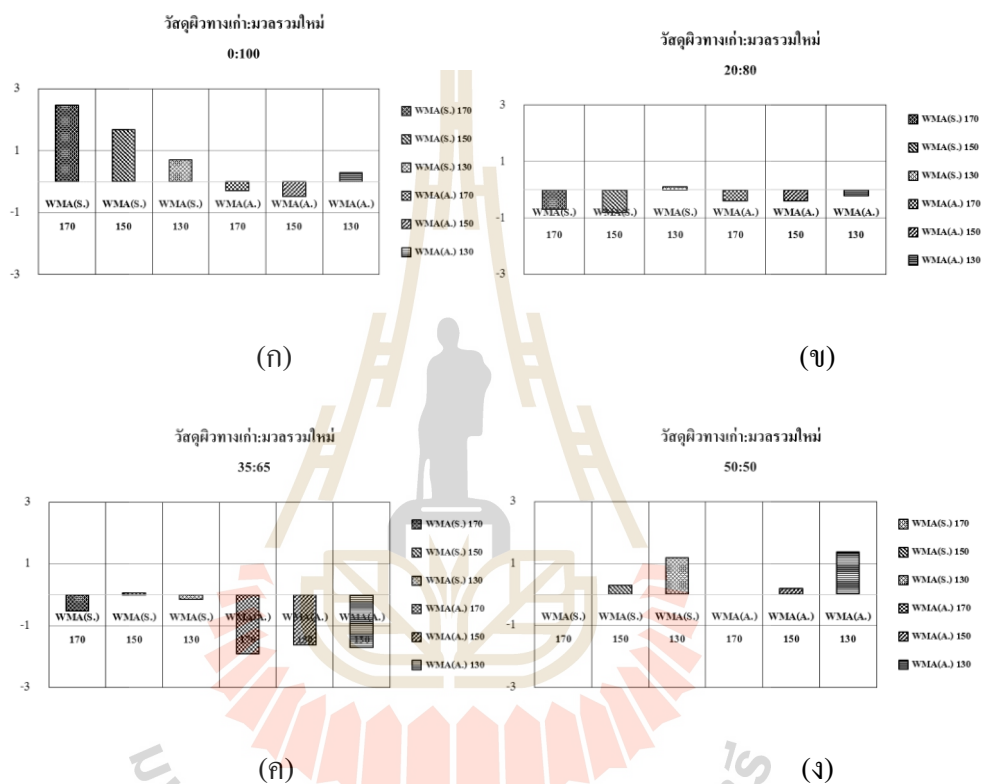
(ก) (ข)(ค)

รูปที่ 4.12 ค่าการไหลเมื่อใช้สารผสมเพิ่มชนิดโพลี

4.1.5.2 การวิเคราะห์ค่าการไหลเมื่อพิจารณาวิธีการผสมที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนที่มีส่วนผสมของผิวทางเก่าและใช้สารผสมเพิ่มที่อุณหภูมิผสม 170, 150 และ 130 องศาเซลเซียส เทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีสารผสมเพิ่มที่อุณหภูมิผสม 170 องศาเซลเซียส องศาเซลเซียส ซึ่งผลการเปรียบเทียบเป็นการแสดงความแตกต่างโดยการนำค่าการไหลที่ได้จากวิธีการผสมร้อนลบกับค่าการไหลที่ได้จากวิธีการผสมอุ่นที่มีสารผสมเพิ่มและอุณหภูมิผสม

ที่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อผลความแตกต่างของค่าการไหลที่ได้มีค่าใกล้ 0 แสดงว่าที่วิธีการผสมและอุณหภูมินั้นให้ค่าการไหลใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ถูกผสมด้วยวิธีการผสมร้อน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสแต่หากผลความแตกต่างของค่าการไหลที่ได้มีค่าติดลบ (-) หมายความว่าที่วิธีการผสมและอุณหภูมินั้นมีค่าการไหลน้อยกว่าตัวอย่างที่ถูกผสมด้วยวิธีการผสมร้อน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสแสดงดังรูปที่ 4.13



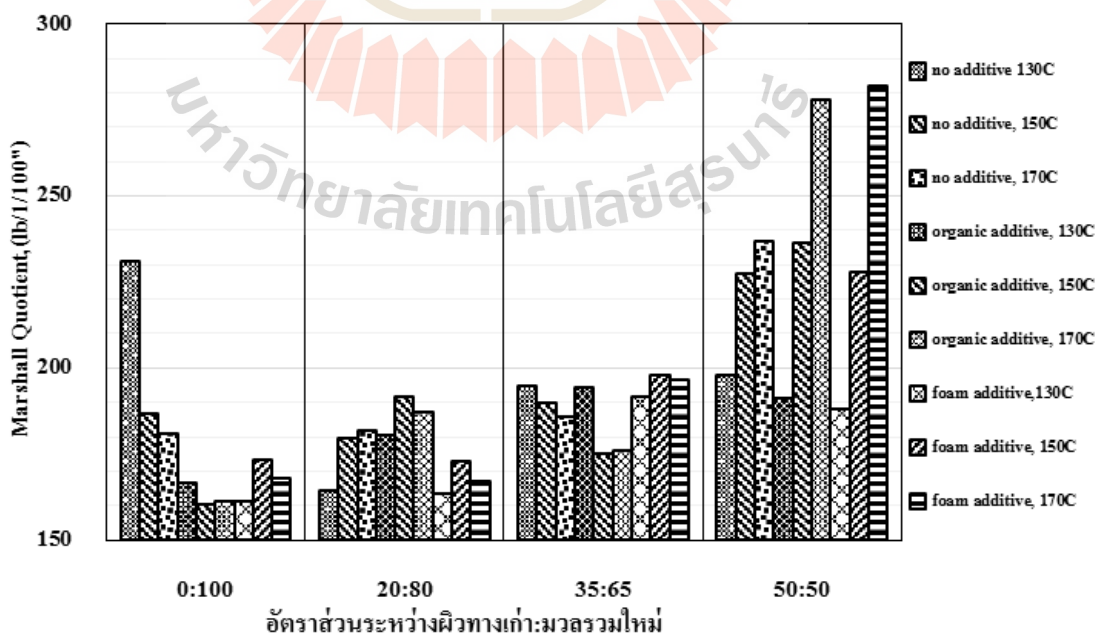
รูปที่ 4.13 ความแตกต่างของค่าการไหลจากการตัวอย่างที่ใช้สารผสมเพิ่มเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการใช้สารผสมเพิ่มที่ถูกผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.13 (ก) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ไม่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมพบว่าเมื่อตัวอย่างถูกเติมสารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ให้ค่าการไหลสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารผสมเพิ่มและผสมที่อุณหภูมิผสม 170 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเติมสารผสมเพิ่มชนิดโพลีพบว่าค่าการไหลที่ได้ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่มีการผสมเพิ่มและผสมที่อุณหภูมิผสม 170 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาสัดส่วนการใช้วัสดุผิวทางเก่า 20% พบว่าค่าการไหลมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารและผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.13 (ข) แต่เมื่อมีการเพิ่มวัสดุผิวทางเก่าเป็น 35% พบว่าตัวอย่างที่ถูกเติมด้วยสารผสมเพิ่มชนิดโพลีมีค่าการไหลต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมสารผสมเพิ่มและ

ผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเล็กน้อย ในขณะที่ตัวอย่างที่ถูกเติมด้วยสารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ ให้ค่าการไหลใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารผสมเพิ่มและผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.13(ค) สำหรับการใส่สัดส่วนวัสดุผิวทางเก่า 50% พบว่าค่าการไหลที่ได้จากสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกันคือเมื่อตัวอย่างที่มีการเติมสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิดที่ถูกผสมที่อุณหภูมิ 170 และ 150 องศาเซลเซียสได้ค่าการไหลใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารผสมเพิ่ม และถูกผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส และได้ค่าการไหลสูงกว่า เมื่อผสมที่อุณหภูมิการผสมเป็น 130 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.13(ง)

4.1.6 การวิเคราะห์ค่าเสถียรภาพเทียบกับค่าการไหล(Marshall Quotient)

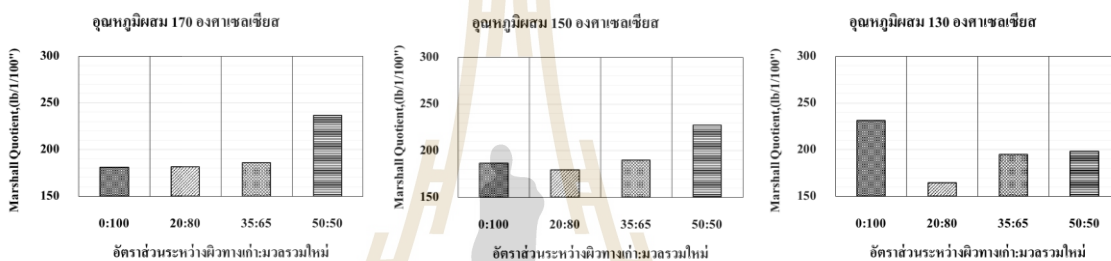
ในส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบค่า เสถียรภาพเทียบกับค่าการไหลหรือค่า Marshall Quotient ที่ได้จากการใช้สารผสมเพิ่ม, อุณหภูมิผสม, สัดส่วนผิวทางเก่าที่แตกต่างกัน โดยค่าเสถียรภาพเทียบกับค่าการไหลหรือค่า Marshall Quotient เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแกร่ง (Stiffness) หากวัสดุมีค่า Marshall Quotient สูง จะส่งผลให้ตัวอย่างมีความแข็งแกร่งสูงตามไปด้วย แต่หากวัสดุมีค่าดังกล่าวสูงเกินไปและมีค่าการไหลซึ่งบ่งบอกถึงความยืดหยุ่นต่ำเกินไปก็จะมีโอกาสเกิดการแตกร้าวได้ง่ายขึ้น ดังรูปที่ 4.14 เมื่อพิจารณาการใช้สัดส่วนผิวทางเก่า 50% พบว่าวัสดุมีค่า Marshall Quotient สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้และการใช้วัสดุผิวทางเก่าที่สัดส่วนอื่นๆ เนื่องจากมีค่าการไหลต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าที่วัสดุนี้มีโอกาสที่จะเกิดการแตกร้าวได้มากกว่าโดยผลการทดสอบค่า Marshall Quotient ของทั้ง 36 สูตรส่วนผสมแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ค่า Marshall Quotient จำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่

4.1.6.1 การวิเคราะห์ค่า Marshall Quotient เมื่อพิจารณาสัดส่วนการใช้ผิวทางเก่าที่แตกต่างกัน

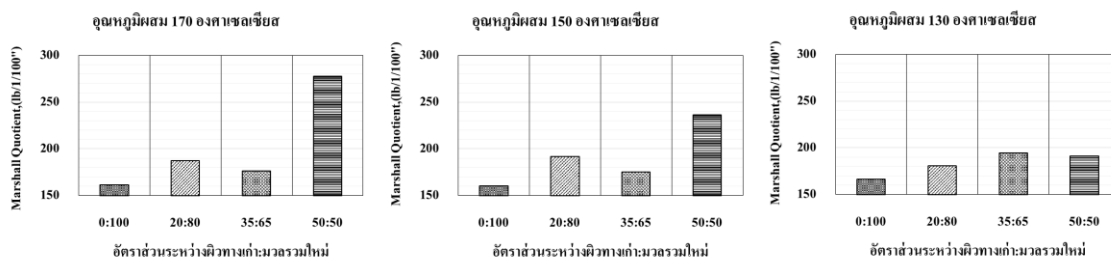
เมื่อพิจารณาวิธีการไม่ใช้สารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมพบว่า แนวโน้มค่า Marshall Quotient เพิ่มขึ้นเมื่อมีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม โดยเมื่อพิจารณาตัวอย่างที่ถูกผสมที่อุณหภูมิ 170 และ 150 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสมของผิวทางเก่าให้ค่า Marshall Quotient ใกล้เคียงตัวอย่างที่มีส่วนผสมของผิวทางเก่าในสัดส่วน 20% และ 35% ในขณะที่ตัวอย่างที่ใช้ผิวทางเก่า 50% ให้ค่า Marshall Quotient สูงที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.15(ก) และ (ข)ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาตัวอย่างที่ถูกผสมที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสพบว่า ตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสมของผิวทางเก่าให้ค่า Marshall Quotient สูงที่สุดแสดงดังรูปที่ 4.15(ค)



(ก) (ข)(ค)

รูปที่ 4.15 ค่า Marshall Quotient เมื่อไม่ใช้สารผสมเพิ่ม

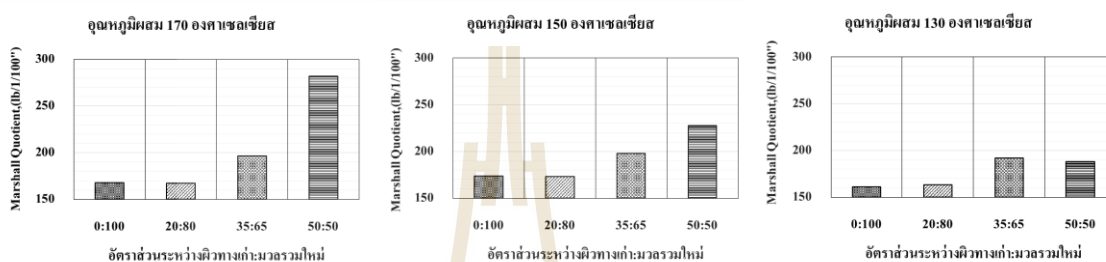
เมื่อพิจารณาวิธีการเติมสารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์พบว่า แนวโน้มค่า Marshall Quotient เพิ่มขึ้นเมื่อมีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมโดยที่อุณหภูมิการผสม 170 และ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่า Marshall Quotient สูงที่สุดเมื่อมีสัดส่วนการใช้ผิวทางเก่า 50% ดังรูปที่ 4.16(ก) และ (ข) ตามลำดับ แต่สำหรับที่อุณหภูมิการผสม 130 องศาเซลเซียส พบว่าการไม่ใช้ผิวทางเก่าให้ค่า Marshall Quotient ต่ำที่สุด โดยการใช้ผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม 20%, 35% และ 50% ให้ค่า Marshall Quotient ใกล้เคียงกัน



(ก) (ข)(ค)

รูปที่ 4.16 ค่า Marshall Quotient เมื่อใช้สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

เมื่อพิจารณาวิธีการเติมสารผสมเพิ่มชนิดโพลี พบว่าแนวโน้มค่า Marshall Quotient เพิ่มขึ้นเมื่อมีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมโดยที่อุณหภูมิผสม 170 องศาเซลเซียส และให้ค่า Marshall Quotient สูงที่สุดเมื่อมีสัดส่วนการใช้ผิวทางเก่า 50% ดังรูปที่ 4.17(ก) และ (ข) ตามลำดับ แต่สำหรับที่อุณหภูมิผสม 130 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้สัดส่วนผิวทางเก่า 35% มีค่า Marshall Quotient สูงที่สุดและสูงกว่าการใช้สัดส่วนผิวทางเก่า 50% เพียงเล็กน้อย เช่นเดียวกับการเติมสารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์แสดงดังรูปที่ 4.17(ค)



(ก) (ข)(ค)

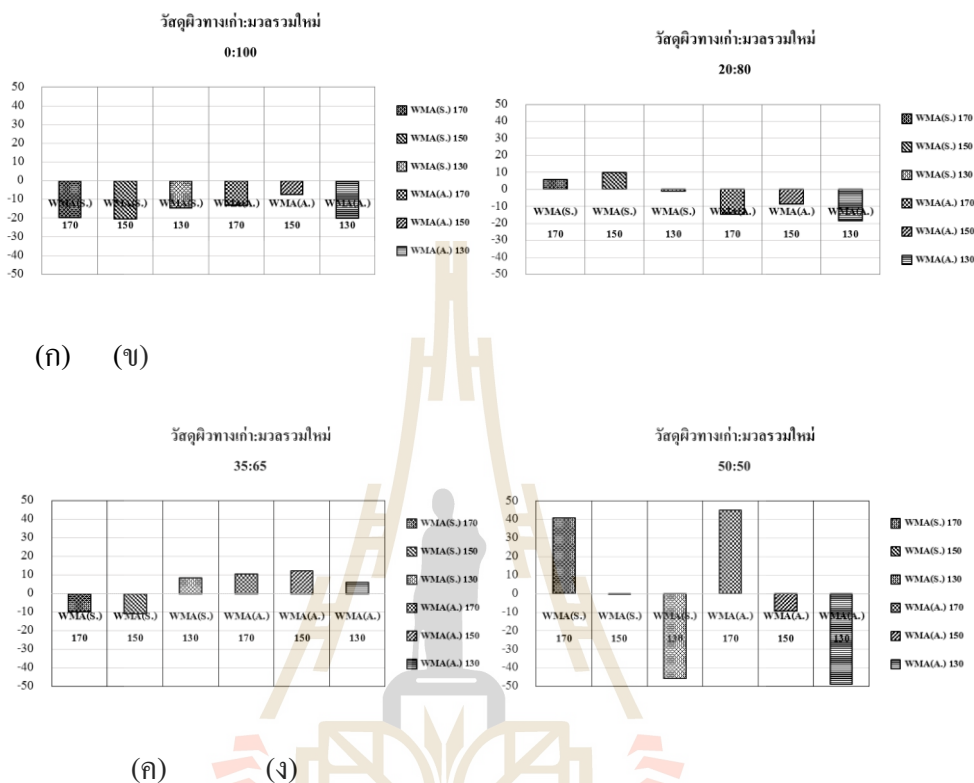
รูปที่ 4.17 ค่า Marshall Quotient เมื่อใช้สารผสมเพิ่มชนิดโพลี

จากรูปที่ 4.15, รูปที่ 4.16 และ รูปที่ 4.17 เป็นการแสดงค่า Marshall Quotient จากสัดส่วนการใช้ผิวทางเก่าที่แตกต่างกัน และสารผสมเพิ่มที่แตกต่างกัน จะสังเกตได้ว่าทั้งการไม่เติมสารผสมเพิ่มและการเติมสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิด ให้แนวโน้มค่า Marshall Quotient คล้ายกันคือ ค่า Marshall Quotient จะลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการผสมลดลง

4.1.6.2 การวิเคราะห์ค่า Marshall Quotient เมื่อพิจารณาวิธีการผสมที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนที่มีส่วนผสมของผิวทางเก่าที่อุณหภูมิผสม 170, 150 และ 130 องศาเซลเซียส ที่ถูกเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารผสมเพิ่มและผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการเปรียบเทียบเป็นการแสดงความแตกต่างโดยการนำค่า Marshall Quotient ที่ได้จากตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารผสมเพิ่มและผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสลบกับค่า Marshall Quotient ที่ได้จากการใช้สารผสมเพิ่มและอุณหภูมิผสมที่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อผลความแตกต่างของค่า Marshall Quotient ที่ได้มีค่าใกล้ 0 แสดงว่าที่วิธีการผสมและอุณหภูมินั้นให้ค่า Marshall Quotient ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารผสมเพิ่มและผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส แต่หากผลความแตกต่างของค่า Marshall Quotient ที่ได้มีค่าเป็นบวก (+) หมายความว่าที่วิธีการผสมและอุณหภูมินั้นมีค่า Marshall Quotient สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการใช้สารผสมเพิ่มและผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในทางตรงข้ามถ้าผลที่ได้มีค่าติดลบ (-) แสดงว่าตัวอย่างนั้นมีค่า Marshall

Quotient ต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารผสมเพิ่มและผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งผลความแตกต่างของMarshall Quotient แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ความแตกต่างของค่า Marshall Quotient จากการตัวอย่างที่ใช้สารผสมเพิ่มเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการใช้สารผสมเพิ่มที่ถูกผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.18(ก) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ไม่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมพบว่าเมื่อตัวอย่างได้รับการเติมสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิดให้ค่า Marshall Quotient ต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารผสมเพิ่มและถูกผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมในปริมาณ 20% พบว่าการเติมสารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ที่เมื่อทำการผสมที่อุณหภูมิ 170 และ 150 องศาเซลเซียสให้ค่า Marshall Quotient สูงกว่าตัวอย่างที่ถูกผสมด้วยวิธีการผสมอื่น 170 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.18(ข) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผิวทางเก่าในปริมาณ 35% ตัวอย่างที่ได้รับการเติมสารผสมเพิ่มชนิดโฟมกลับให้ค่า Marshall Quotient สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารผสมเพิ่มและถูกผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส รวมถึงตัวอย่างที่ได้รับการเติมสารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ ที่ถูกผสมที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสอีกด้วย ดังรูปที่ 4.18(ค) แต่เมื่อปริมาณผิวทางเก่าเป็น 50%

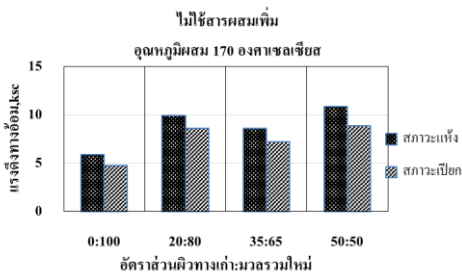
พบว่าตัวอย่างที่ถูกผสมที่ 170 องศาเซลเซียสที่ได้รับการเติมสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิดให้ค่า Marshall Quotient สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารผสมเพิ่มและถูกผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

4.2 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น (Moisture Susceptibility)

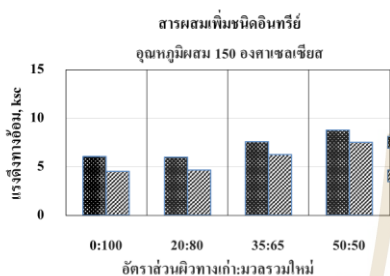
การทดสอบความไวต่อความชื้นเป็นการทดสอบที่ได้จากการทดสอบค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) ที่ทดสอบทั้งในสภาวะแห้ง (Std) และสภาวะเปียก (Stm) โดยใช้อุณหภูมิในการทดสอบเท่ากับ 170 องศาเซลเซียสสำหรับวิธีการผสมร้อน , 130 และ 150 องศาเซลเซียสสำหรับวิธีการผสมอุ่น โดยได้ค่า TSR จากการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

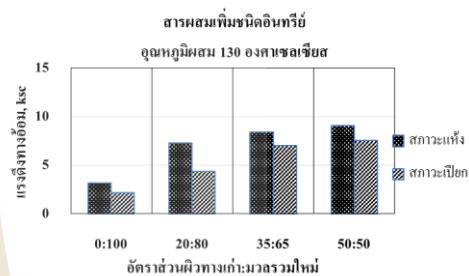
อัตราส่วนระหว่าง ผิวทางเก่า: มวลรวมใหม่	การใช้สารผสมเพิ่ม	อุณหภูมิ ผสม (°C)	Bulk Sp. Gr.	Max Sp. Gr.	Air Void (%)	Std (ksc)	Stm (ksc)	TSR (%)
0:100	ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม	170	2.358	2.539	7.14	5.92	4.75	80.24
		150	2.325	2.504	7.15	6.04	4.56	75.42
		130	2.339	2.519	7.14	3.16	2.20	69.76
	Sasobit®	150	2.312	2.490	7.17	4.25	2.29	53.99
		130	2.323	2.502	7.14	5.52	3.22	58.24
		Advera®	150	2.312	2.490	7.17	4.25	2.29
20:80	ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม	170	2.358	2.539	7.14	9.97	8.62	86.48
		150	2.342	2.522	7.12	5.97	4.67	78.60
		130	2.353	2.534	7.13	7.30	4.37	59.82
	Sasobit®	150	2.335	2.516	7.18	6.85	3.87	57.00
		130	2.366	2.516	7.14	5.57	3.69	66.33
		Advera®	150	2.335	2.516	7.18	6.85	3.87
35:65	ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม	170	2.330	2.509	7.15	8.62	7.26	84.15
		150	2.337	2.517	7.16	7.61	6.28	82.62
		130	2.336	2.516	7.16	8.42	7.02	83.45
	Sasobit®	150	2.352	2.533	7.15	7.22	5.27	73.41
		130	2.325	2.503	7.12	6.56	4.24	65.16
		Advera®	150	2.352	2.533	7.15	7.22	5.27
50:50	ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม	170	2.316	2.494	7.15	10.85	8.89	81.93
		150	2.311	2.510	7.13	8.79	7.50	85.29
		130	2.309	2.487	7.14	9.06	7.58	83.65
	Sasobit®	150	2.312	2.490	7.14	9.00	7.09	78.82
		130	2.324	2.503	7.14	6.78	4.72	69.58
		Advera®	150	2.312	2.490	7.14	9.00	7.09



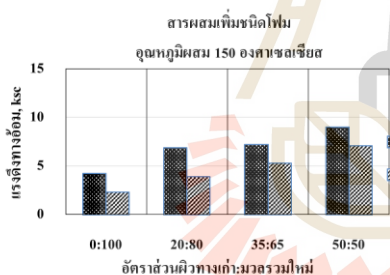
(ก)



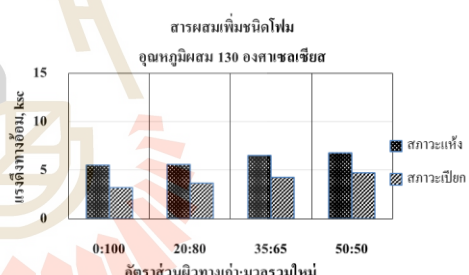
(ข)



(ค)



(ง)

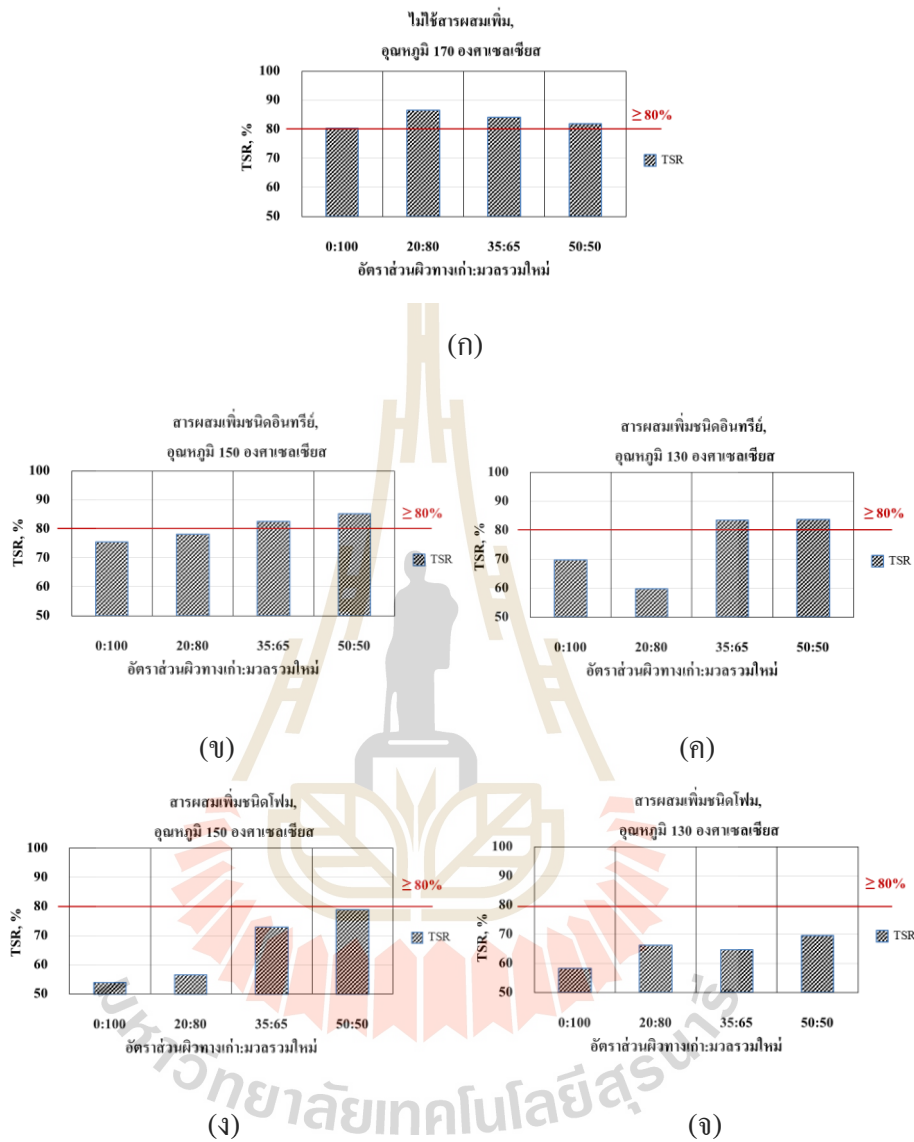


(จ)

รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบค่าแรงดึงทางอ้อมในสภาวะเปียกและสภาวะแห้ง

จากรูปที่ 4.19 จะสังเกตได้ว่าแนวโน้มแรงดึงทางอ้อมมีทิศทางเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้สัดส่วนการใช้ผิวทางเก่าเพิ่มมากขึ้นทั้งสภาวะเปียกและสภาวะแห้ง โดยเมื่อพิจารณาตัวอย่างที่ไม่มีการใช้สารผสมเพิ่ม ที่ถูกผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างให้ค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมสูงที่สุดในทั้งสองสภาวะ (เปียกและแห้ง) เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่มีการเติมสารผสมเพิ่ม ดังรูปที่ 4.19 (ก) แต่เมื่อพิจารณาตัวอย่างที่มีการเติมสารผสมเพิ่มทั้งชนิดอินทรีย์ โดยใช้อุณหภูมิผสมลดลงเป็น 150 และ 130 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างที่มีการเติมสารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์และใช้อุณหภูมิผสม 130 องศาเซลเซียส จะให้ค่าแรงดึงทางอ้อมสูงกว่าเมื่อถูกผสมที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ดังรูปที่

4.9 (ข) และ (ค) ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการเติมสารผสมเพิ่มชนิดโฟมที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสจะ ให้ค่าแรงดึงทางอ้อมสูงกว่าเมื่อถูกผสมที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.9 (ง) และ (จ)



รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบค่า Tensile Strength Ratio (TSR)

จากรูปที่ 4.20 เมื่อพิจารณาค่า TSR พบว่าการไม่ใช้สารผสมเพิ่มและทำการผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จะให้ค่า TSR มากกว่า 80% ในทุกสัดส่วน นั่นคือวัสดุมีโอกาสเกิดความเสียหายจากความชื้นได้น้อย เนื่องจากการใช้อุณหภูมิผสมที่สูงจะทำให้โอกาสที่จะมีความชื้นเหลือในส่วนผสมมีน้อย จึงทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ทำหน้าที่เคลือบอนุภาคของมวลรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพดังรูปที่ 4.20 (ก)

เมื่อพิจารณาตัวอย่างที่มีการใช้สารผสมเพิ่มพบว่าที่สัดส่วนการใช้ผิวทางเก่าเท่ากับ 35% และ 50% ที่ได้รับการเติมสารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ จะให้ค่า TSR มากกว่า 80% ในทั้งสองอุณหภูมิ

การผสม (150 และ 130 องศาเซลเซียส) ดังรูปที่ 4.20 (ข) และ (ค) อีกทั้งพบว่าการใช้สัดส่วนผิวทางเก่า 50% และทำการผสมที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสจะให้ค่า TSR ใกล้เคียง 80% เมื่อตัวอย่างถูกเติมสารผสมเพิ่มชนิดโฟม แสดงดังรูปที่ 4.20 (ง) จากการสังเกตพบว่าการใช้สัดส่วนผิวทางเก่า 50% และใช้สารผสมเพิ่มทั้งชนิดอินทรีย์และชนิดโฟมจะให้ค่า TSR สูงที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการใช้ขนาดคละแบบละเอียดมากกว่าจึงมีความต้านทานต่อความเสียหายจากความชื้นมากกว่า ส่วนผสมที่มีขนาดคละแบบหยาบ เนื่องจากโครงสร้างการกระจายตัวของช่องว่างอากาศในส่วนผสมที่แตกต่างกัน โดยส่วนผสมที่มีขนาดคละที่ละเอียดจะมีช่องว่างที่ต่อเนื่องกันน้อยกว่า น้ำจึงซึมผ่านเข้าไปได้ยากกว่า



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตของการศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม ซึ่งจากผลการทดสอบต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดสอบ

1. การลดอุณหภูมิในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต จะส่งผลให้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content) มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากการผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์มีความหนืดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการเคลือบอนุภาคมวลรวมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ลดลง
2. การใช้วิธีการผสมและการใช้สารผสมเพิ่มที่ต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมของแต่ละส่วนผสมมีความแตกต่างกัน โดยเมื่อ พิจารณาที่สัดส่วนช่องว่างอากาศเท่ากัน การลดอุณหภูมิผสมลงเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส การใช้สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์เป็นส่วนผสม จะช่วยลดความต้องการปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมลงได้ อาจเนื่องมาจากการที่สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์มีคุณสมบัติช่วยให้ปริมาตรของแอสฟัลต์ซีเมนต์เพิ่มสูงขึ้นทำให้ง่ายต่อการเคลือบอนุภาคของมวลรวม
3. การใช้สัดส่วนวัสดุผิวทางเก่าในช่วง 20-35% มีแนวโน้มให้ค่าเสถียรภาพสูงกว่าการไม่ใช้และการใช้ที่สัดส่วน 50%ซึ่งทำให้วัสดุมีความต้านทานต่อแรงที่มากกว่า
4. ค่าการไหลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนประกอบ 20%และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณผิวทางเก่าเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้วัสดุมีความยืดหยุ่นมากขึ้น
5. ค่าเสถียรภาพเทียบกับค่าการไหล (Marshall Quotient) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณผิวทางเก่าเป็นส่วนประกอบมากขึ้น โดยการใช้สัดส่วนผิวทางเก่า 50%ให้ค่า Marshall Quotient สูงที่สุดนั่นคือวัสดุมีความแข็งแรงสูงที่สุด อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุผิวทางเก่า 50% ให้ค่าการไหลต่ำที่สุดนั่นคือ วัสดุจะมีความยืดหยุ่นต่ำที่สุด จึงมีโอกาสเกิดการแตกร้าวได้สูงกว่าการใช้วัสดุผิวทางเก่าด้วยสัดส่วน 20 และ 35%

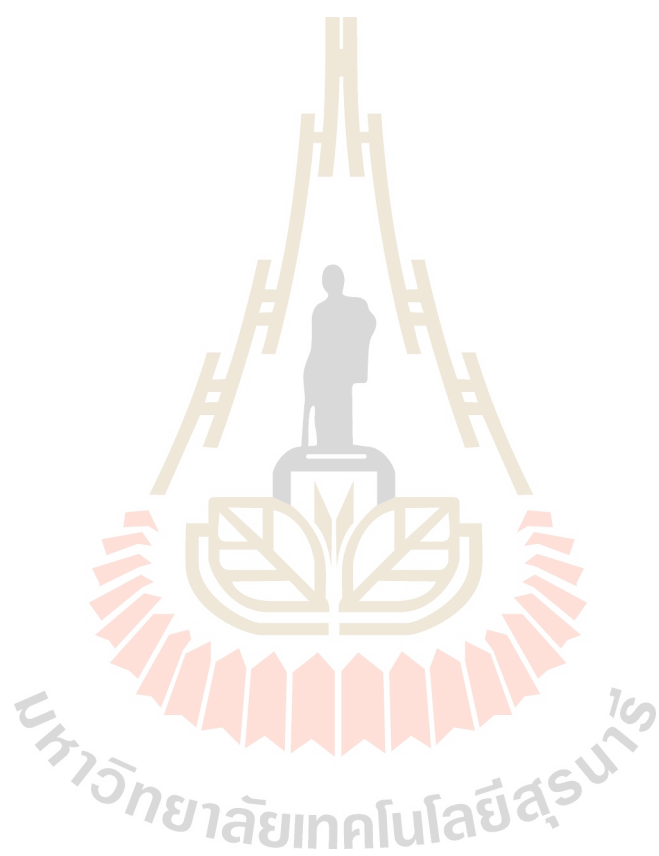
6. การไม่ใช้สารผสมเพิ่มและทำการผสม ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จะทำให้วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมมีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมสูงกว่าการลดอุณหภูมิการผสมลงเป็น 150 องศาเซลเซียส และ 130 องศาเซลเซียส ทั้งในสภาวะเปียกและสภาวะแห้ง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์จะมีความหนืดต่ำ ทำให้ง่ายต่อการเคลือบอนุภาควรรวม ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาควรรวมเพิ่มสูงขึ้น

7. การไม่ใช้สารผสมเพิ่มและทำการผสม ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จะทำให้วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ผิวทางเก่า ในทุกสัดส่วนมีโอกาสเกิดความเสียหายจากความชื้นได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการลดอุณหภูมิและใส่สารผสมเพิ่มเพื่อช่วยลดความหนืดของแอสฟัลต์เมื่อใช้สารผสมชนิดอินทรีย์หรือเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เมื่อใช้สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์ในการเคลือบผิวรวม เนื่องจากการใช้อุณหภูมิผสมที่สูงกว่าจะทำให้โอกาสที่ความชื้นจะเหลือในส่วนผสมมีน้อย จึงทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ทำหน้าที่เคลือบมวลรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า

8. การใช้สัดส่วนผิวทางเก่า 35% และ 50% และลดอุณหภูมิผสมลงเหลือ 150 และ 130 องศาเซลเซียส โดยมีการเติมสารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ เพื่อช่วยลดความหนืดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ลง มีโอกาสจะเกิดความเสียหายเนื่องจากความชื้นได้น้อย โดยมีค่า TSR มากกว่า 80%

5.2 ข้อเสนอแนะ

เมื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการก่อสร้างระหว่างวิธีการผสมร้อนและวิธีการผสมอุ่นทำให้ทราบว่า การก่อสร้างด้วยวิธีการผสมอุ่นสามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างได้ถึง 20-25% แต่หากวิศวกรจะนำวัสดุผิวทางเก่ามาใช้เป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้วิธีการผสมอุ่นจะต้องคำนึงถึงอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม อุณหภูมิผสม และชนิดของสารผสมเพิ่ม โดยความไวต่อความชื้นยังคงเป็นประเด็นสำคัญที่ควรคำนึงหรือให้ความสำคัญเมื่อออกแบบผิวทางในพื้นที่ที่มีความชื้นสูง และควรมีการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมอื่นๆ เช่น Resilient Modulus (M_R), ความต้านทานต่อการเกิดร่องล้อ (Rutting Resistance) และความต้านทานต่อความล้า (Fatigue Resistance) ก่อนนำไปใช้งาน



เอกสารอ้างอิง

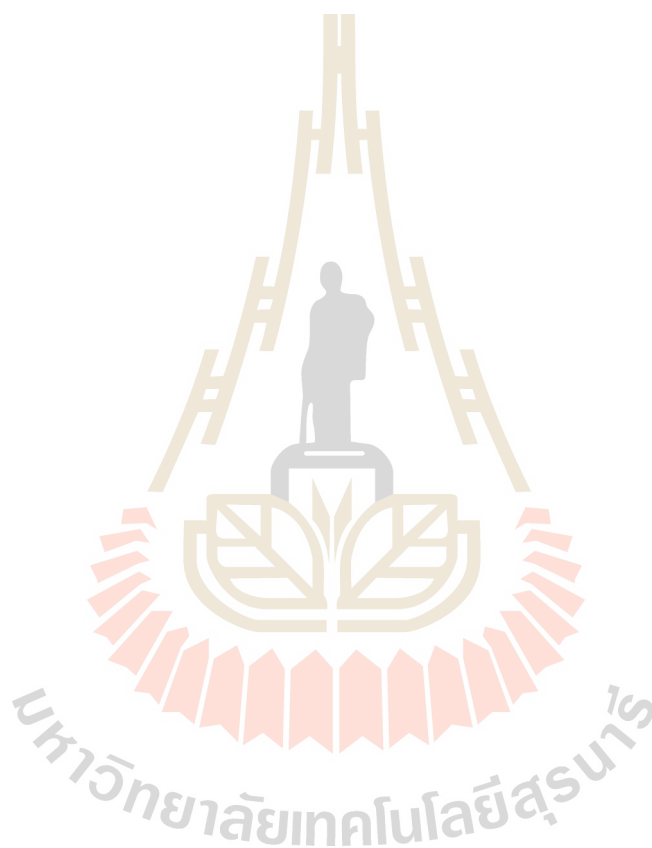
- กรมทางหลวง (2539) สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง .มาตรฐานงานทาง .โรงพิมพ์ชุมชน
สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร
- กรมทางหลวง .สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง (2543) มาตรฐานวิธีการทดลอง .โรงพิมพ์
องค์การรับส่งสินค้าและวัสดุภัณฑ์, กรุงเทพมหานคร
- ณัฐภรณ์ เจริญธรรม และ กัณวีร์ กนิษฐ์พงศ์(2554). การสำรวจความเสียหายเนื่องจากความชื้น
ในแอสฟัลท์ คอนกรีตชนิดผสมอุ่นด้วยการทดสอบการคืบแบบการให้แรงกระทำซ้ำ,
งานประชุมวิชาการการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 6, มหาวิทยาลัยธนเรศวร, จ. พิษณุโลก,
ประเทศไทย
- Ali Abbaset al(2013). Effect of temperature reduction, foaming water content, and aggregate
moisture content on performance of foamed warm mix asphalt. **Construction and
Building Materials**, 48, 1058-1066. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.07.081
- American Society for Testing Material. (2010). **Annual Book of ASTM Standards**. Section 4,
Construction, Volume 04.03, Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems
.PA:USA. Building Stones, Philadelphia.
- Ashley Busset al (2015) **Evaluation of moisture susceptibility tests for warm mix
asphalts**.Construction and Building MaterialsVolume 102, Part 1, 15 January 2016,
Pages 358–366
- Audrey Copeland (2011) **Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the
Practice**
- Borleo, Kanitpong, and Charoentham.(2008).Performance Evaluation of Warm Mix Asphalt
Produced with Sasobit Additive,**6th ICPT**, Sapporo, Japan
- Colbert, B., and You, Z. (2011). The determination of mechanical performance of laboratory
produced hot mix asphalt mixtures using controlled RAP and virgin aggregate size
fractions.**Construction and Building Materials**, 26(1), 655-662. doi:
10.1016/j.conbuildmat.2011.06.068

- D'Angelo et al.(2008). **Warm-Mix Asphalt: European Practice**. Alexandria, VA: American Trade Initiatives.
- Civil Engineering Portal. (2007) **Design graphs for Marshall Mix** [On-line]. Available: <http://www.engineeringcivil.com/what-is-marshall-mix-design-for-bituminous-materials.html>
- Edward J. Sullivan and Andrew Moss (2014). **Paving Cost Comparisons: Warm-Mix Asphalt Versus Concrete**
- Feipeng Xiao et al.(2014) Influence of Antistripping Additives on Moisture Susceptibility of Warm Mix Asphalt Mixtures **Journal of Materials in Civil Engineering** Volume 22, Issue 10 (October 2010)
- FHWA.(2012) **Hot Mix Asphalt Recycling (Materials and Mix Design)**[On-line]. Available:http://ntl.bts.gov/lib/7000/7600/7607/chpt_07.pdf
- Gonzalo Valdés et al. (2010) Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP) **Construction and Building Materials** Volume 25, Issue 3, March 2011, Pages 1289–1297
- Graham C. Hurley, Brian D. Prowell (2005).(2005).**EVALUATION OF SASOBIT® FOR USE IN WARM MIX ASPHALT**
- Guo, N., You, Z., Zhao, Y., Tan, Y., & Diab, A. (2014). Laboratory performance of warm mix asphalt containing recycled asphalt mixtures. **Construction and Building Materials**, 64, 141-149. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.002
- John Shaw (2007) **TWG – Warm Mix Asphalt**
- Kanitpong, K., Sonthong, S., Nam, K., Martono, W., & Bahia, H. U.(2007)**Laboratory Study on Warm Mix Asphalt Additives**
- Kvasnak, Andrea and West Randy C (2009) Case Study of Warm-Mix Asphalt Moisture Susceptibility in Birmingham, Alabama **Transportation Research Board Business Office** 500 Fifth Street, NW Washington, DC 20001 USA
- Marisa Dinis-Almeida , João Castro-Gomes , Cesare Sangiorgi , Salah E. Zoorob , Márcia Lopes Afonso (2016) Performance of Warm Mix Recycled Asphalt containing up to 100% RAP **Construction and Building Materials** Volume 112, 1 June 2016, Pages 1–6

- Martins Zaumanis and Juris Smirnovs(2011). analysis of possibility for use of warm mix asphalt in Latvia **3rd International Conference CIVIL ENGINEERING`11 Proceedings I BUILDING MATERIALS**
- Martins ZAUMANIS (2010), **Warm Mix Asphalt Investigation**[On-line]. Available:http://www.warmmixasphalt.org/submissions/117_20100630_M.Zaumanis_WMA_Master_thesis.pdf
- Martina Irene et al (2015) Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling **Resources, Conservation and Recycling** Volume 104, Part A, November 2015, Pages 224–238
- Mogawer PE, W.S et al. Incorporating high percentages of recycled asphalt pavement and warm- mix asphalt technology into thin hot-mix asphalt overlays as pavement preservation strategy. In: **Transportation researchboard 88th annual meeting**. Transportation Research Board; 2009. 21p.
- Rodrigo Miró , et al (2011) Evaluation of high modulus mixture behavior with high reclaimed asphalt pavement (RAP) percentages for sustainable road **Construction Construction and Building Materials** Volume 25, Issue 10, October 2011, Pages 3854–3862
- The Asphalt Institute (1986). **Asphalt Hot-Mix Recycling**, The Asphalt Institute Manual Series No. 20 (MS-20), Second Edition.
- Yong-Rak Kim et al(2012) Moisture Damage Characterization of Warm-Mix Asphalt Mixtures Based on Laboratory-Field Evaluation **Construction and Building Materials** Volume 31, June 2012, Pages 204–211
- Yuhong Wang (2016) The effects of using reclaimed asphalt pavements (RAP) on the long-term performance of asphalt concrete overlays **Construction and Building Materials** Volume 120, 1 September 2016, Pages 335–348
- Shu, X., Huang, B., Shrum, E. D., & Jia, X. (2012). Laboratory evaluation of moisture susceptibility of foamed warm mix asphalt containing high percentages of RAP. **Construction and Building Materials**, 35, 125-130. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.02.095
- Van der Poel, C. (1954). A general system describing the visco-elastic properties of bitumens and it's relation to routine test data. **J. Appl.Chem.**, 4, 221–236.

Zhao, S., Huang, B., Shu, X., & Woods, M. (2013). Comparative evaluation of warm mix asphalt containing high percentages of reclaimed asphalt pavement. **Construction and Building Materials**, 44, 92-100. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.010

Zhao S, Huang B, Shu X, Jia X, Woods M.(2013) Laboratory performance evaluation of Warm mix asphalt containing high percentages of RAP. **Transport Res Record: J Transport Res Board, National Academies**, Washington (DC) 2012; 2294:98–105.





ภาคผนวก ก.

ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตาราง ก.1ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

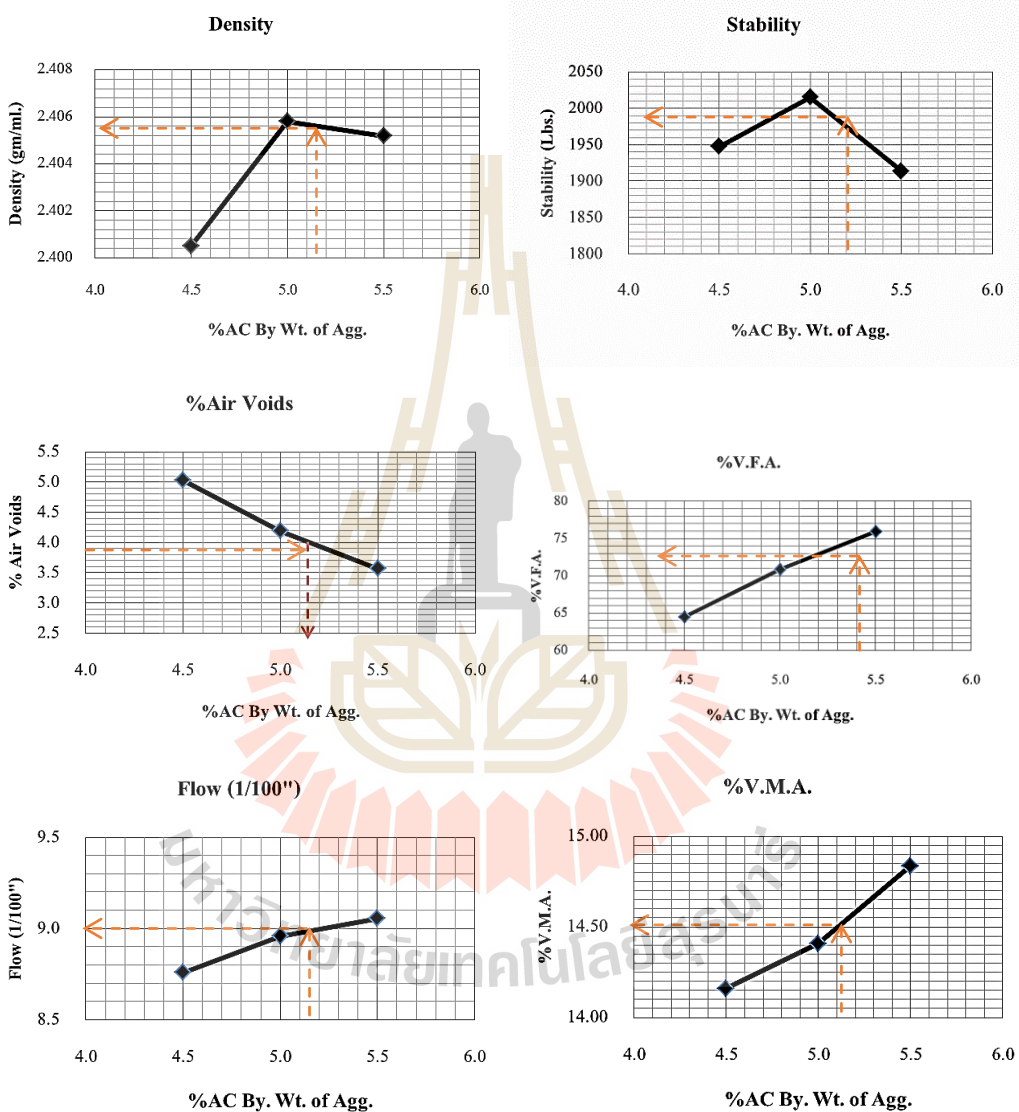
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.61			101.84			101.49	
H		65.72			67.12			64.62	
Average Bulk volume		514.18			514.65			516.29	
Average Density		2.400			2.406			2.405	
Average Vol AC,%total		9.131			10.215			11.267	
Average Vol Agg,%total		85.81			85.59			85.163	
Average VMA,%		14.19			14.41			14.84	
Average Air Void,%		5.06			4.19			3.57	
Average VFB,%		64.35			70.89			75.94	
Average Stability,lb		1947			2015			1913	
Average Flow,(1/100")		9			9			9	



รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.2ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

150 องศาเซลเซียส

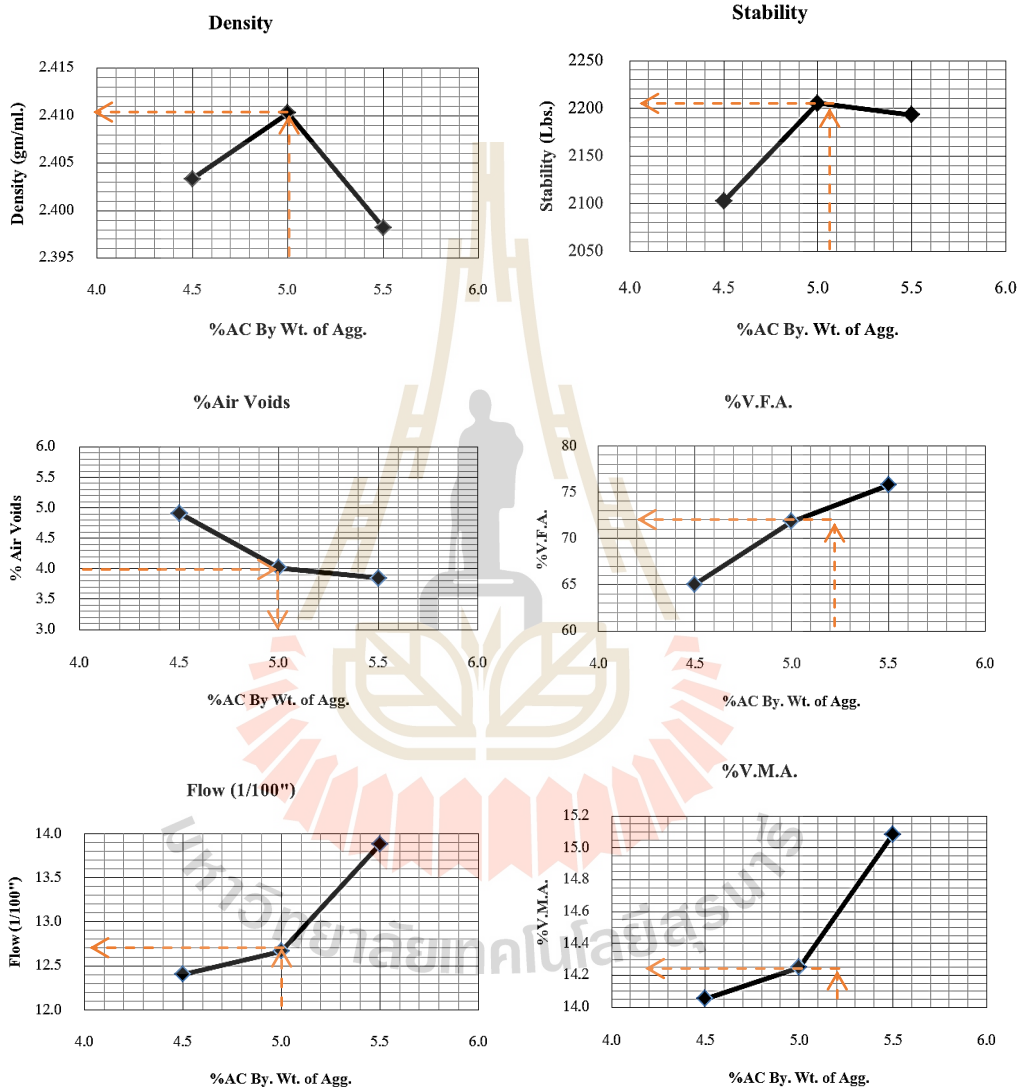
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.6			101.62			101.63	
H		65.11			63.99			64.97	
Average Bulk volume		518.14			516.52			516.03	
Average Density		2.403			2.410			2.398	
Average Vol AC,%total		9.1			10.2			11.2	
Average Vol Agg,%total		85.9			85.7			84.9	
Average VMA,%		14.05			14.25			15.08	
Average Air Void,%		4.9			4			3.8	
Average VFB,%		65.1			71.8			74.5	
Average Stability,lb		2103			2205			2193	
Average Flow,(1/100")		12			13			14	



รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.3ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

170 องศาเซลเซียส

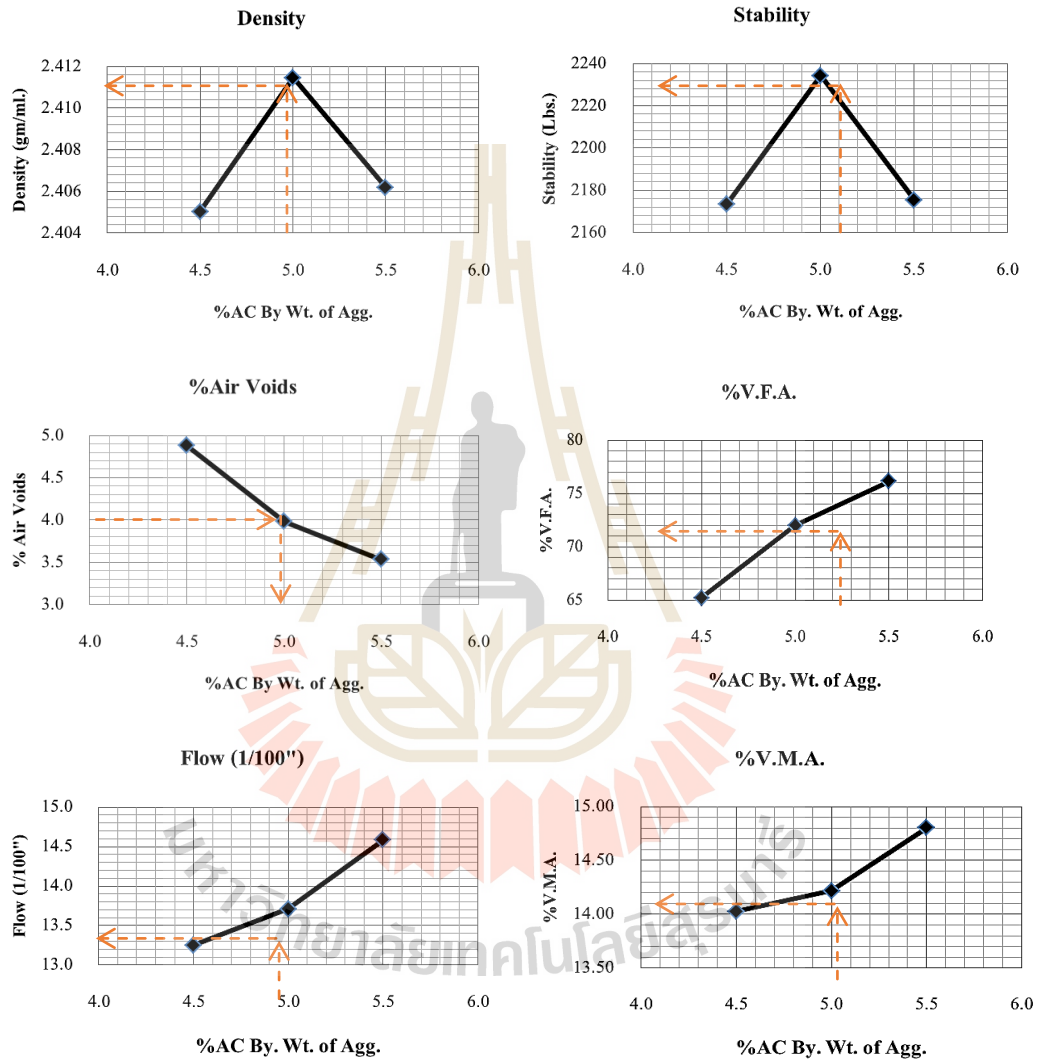
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.43			101.39			101.43	
H		64.54			64.61			64.55	
Average Bulk volume		515.23			516.56			511.94	
Average Density		2.405			2.411			2.406	
Average Vol AC,%total		9.1			10.2			11.3	
Average Vol Agg,%total		86			85.8			85.2	
Average VMA,%		14			14.2			14.8	
Average Air Void,%		4.9			4			3.5	
Average VFB,%		65.2			72			76.1	
Average Stability,lb		2173			2234			2175	
Average Flow,(l/100")		13			14			15	



รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.4 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

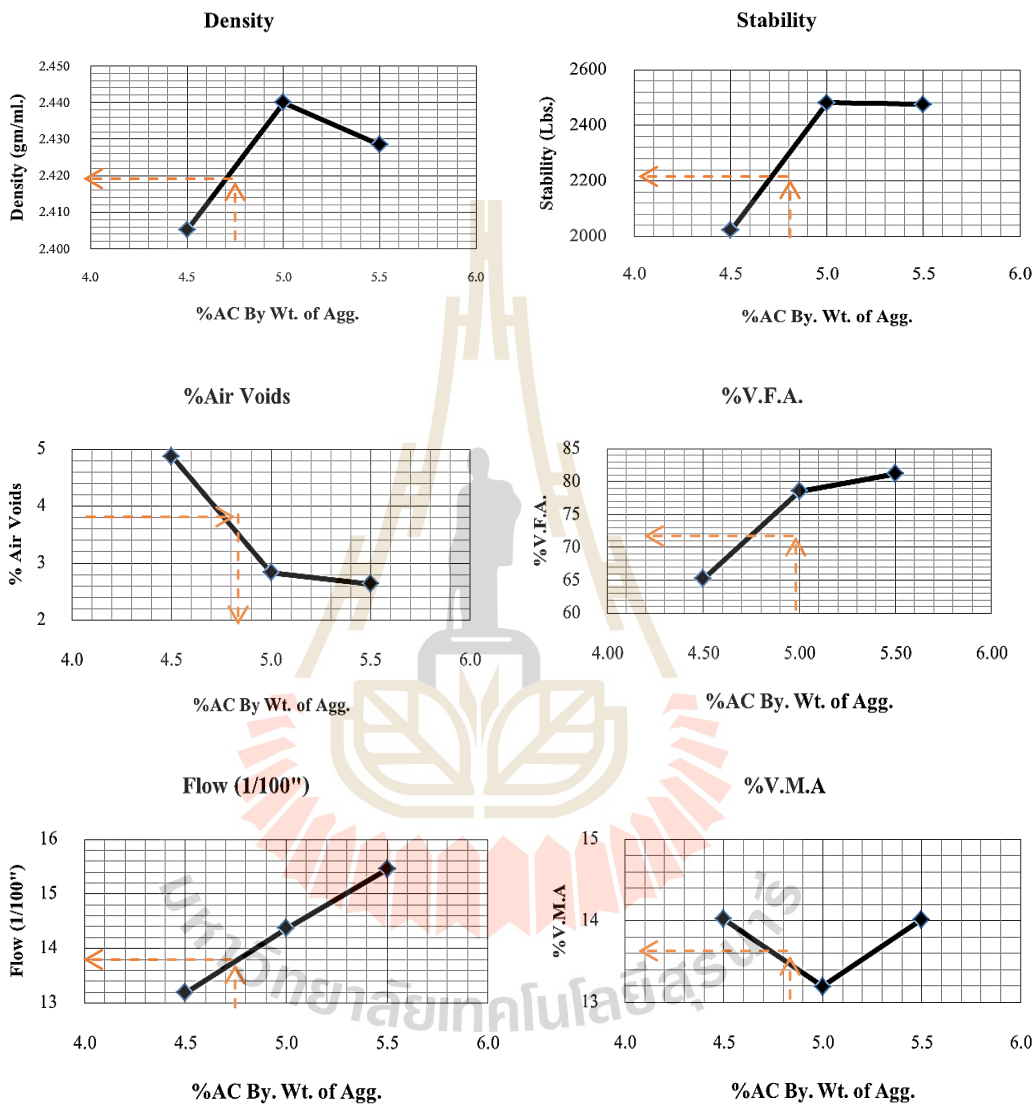
% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.74			101.63			101.6	
H		64.8			64.4			64.76	
Average Bulk volume		513.09			506.6			516.08	
Average Density		2.405			2.440			2.428	
Average Vol AC,%total		513.09			506.6			516.08	
Average Vol Agg,%total		9.1			10.4			11.38	
Average VMA,%		86			86.8			85.98	
Average Air Void,%		4.9			2.8			2.64	
Average VFB,%		14			13.2			14.02	
Average Stability,lb		2022			2481			2475	
Average Flow,(l/100")		13			14			15	





รูปที่ ก.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

ตาราง ก.5 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.82			101.82			101.58		
H	64.38			63.75			64.32		
Average Bulk volume	512.25			507.91			509.39		
Average Density	2.410			2.438			2.425		
Average Vol AC,%total	9.17			10.4			11.36		
Average Vol Agg,%total	86.13			86.7			85.86		
Average VMA,%	13.87			13.3			14.14		
Average Air Void,%	4.7			2.9			2.78		
Average VFB,%	66.09			78.1			80.36		
Average Stability,lb	2501			2511			2507		
Average Flow,(l/100")	14			14			16		



ตาราง ก.6 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

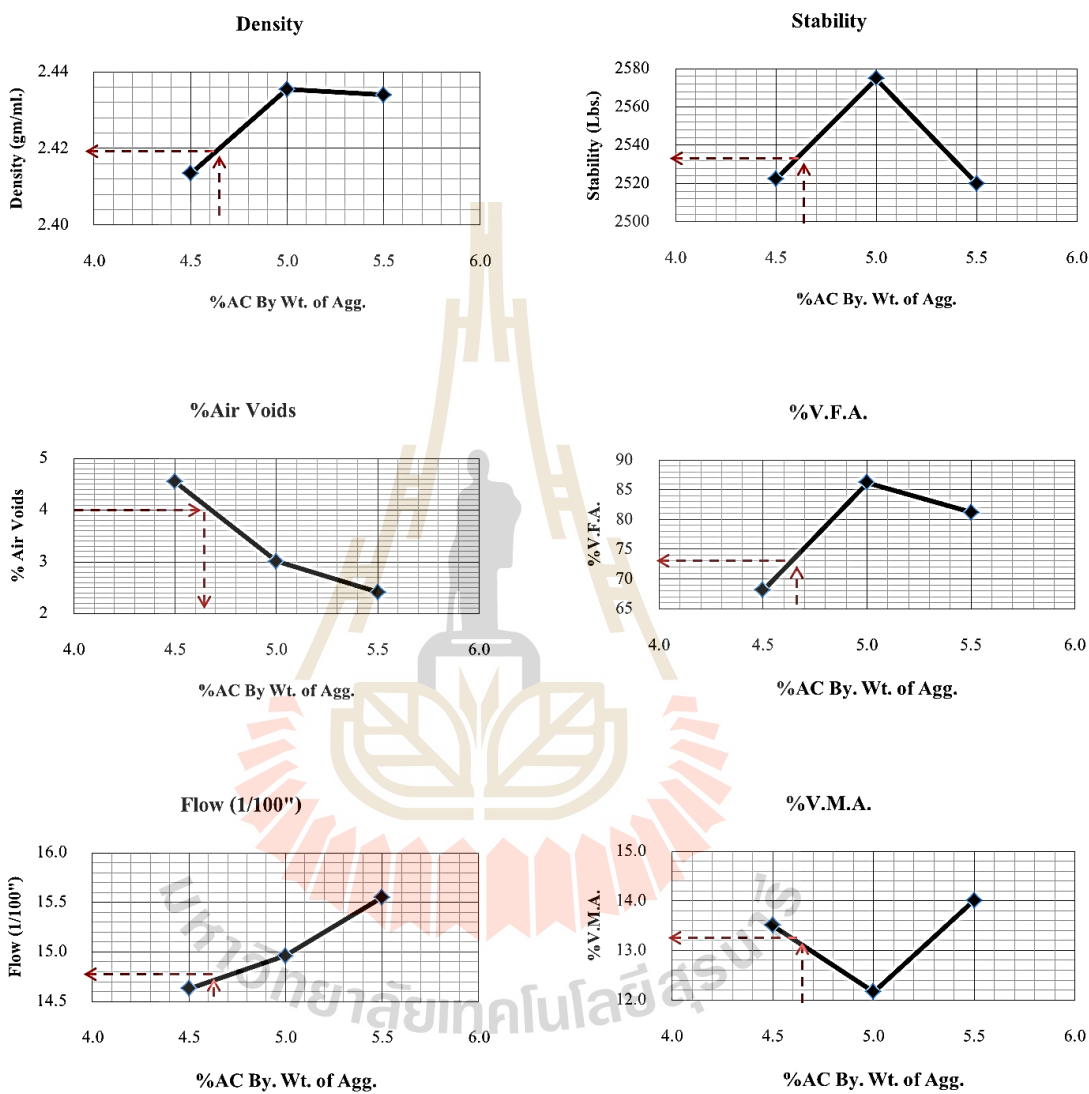
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.69			101.76			101.54		
H	63.88			64.09			64.87		
Average Bulk volume	509.81			510.79			512.82		
Average Density	2.420			2.427			2.416		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.5			86.3			85.5		
Average VMA,%	13.5			13.7			14.5		
Average Air Void,%	4.3			3.4			3.1		
Average VFB,%	68.2			75.4			78.3		
Average Stability,lb	2610			2639			2520		
Average Flow,(l/100")	15			15			16		





รูปที่ ก.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

ตาราง ก.7 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

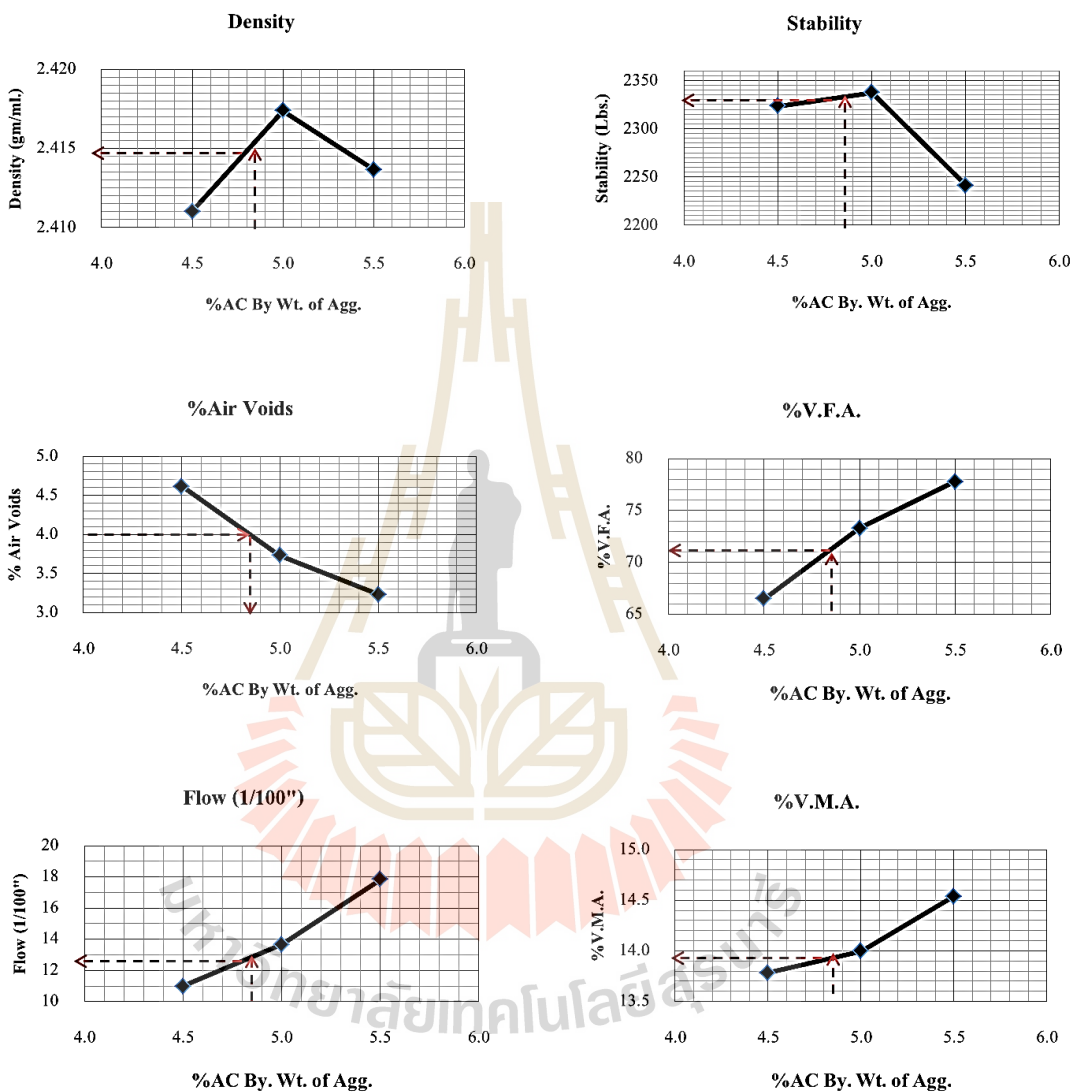
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.91			101.64			101.57		
H	64.03			63.30			63.69		
Average Bulk volume	509.51			513.47			510.81		
Average Density	2.411			2.417			2.414		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.2			86			85.5		
Average VMA,%	13.8			14			14.5		
Average Air Void,%	4.6			3.7			3.2		
Average VFB,%	66.5			73.3			77.8		
Average Stability,lb	2324			2338			2241		
Average Flow,(l/100")	11			14			18		





รูปที่ ก.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.8 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

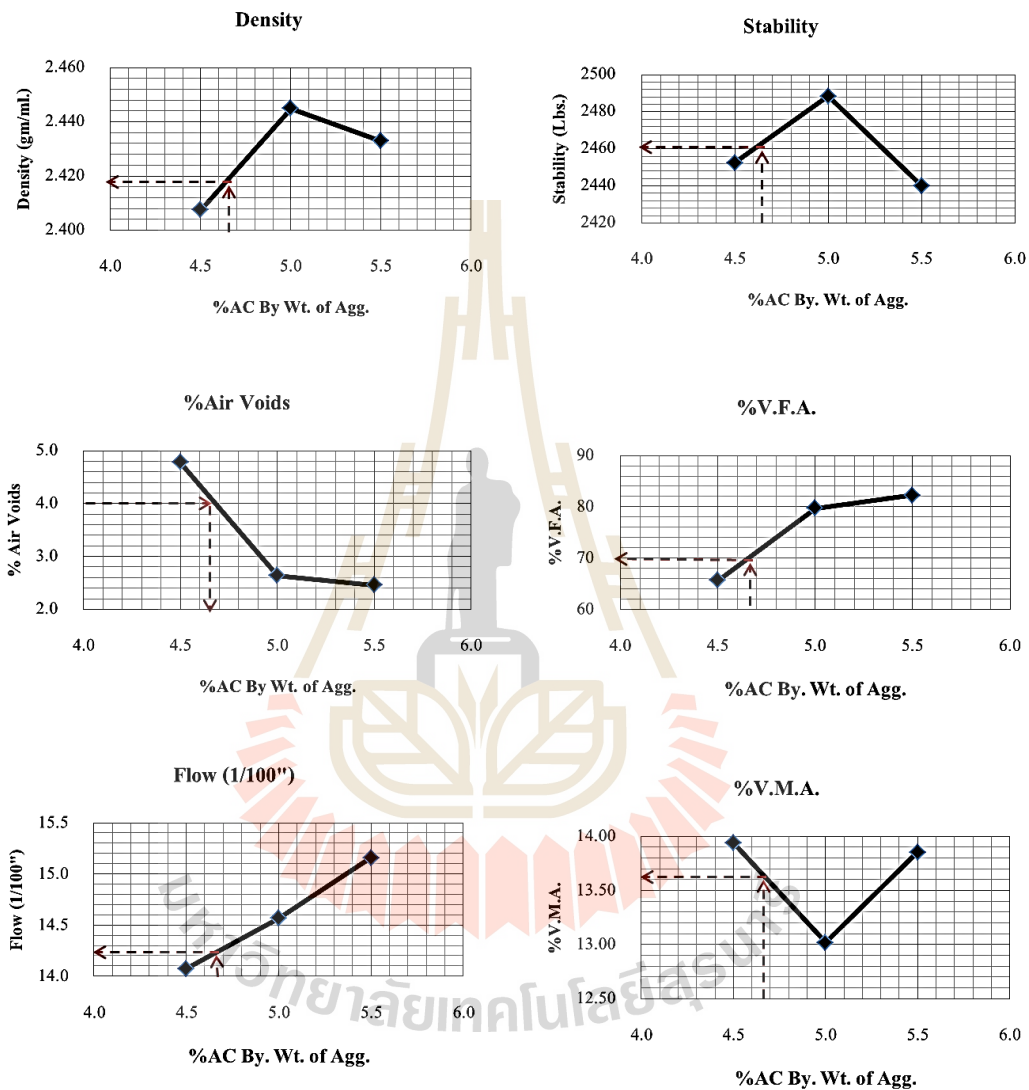
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	102.34			101.86			101.71		
H	63.60			63.19			63.55		
Average Bulk volume	509.11			497.77			505.33		
Average Density	2.408			2.445			2.433		
Average Vol AC,%total	9.2			10.4			11.4		
Average Vol Agg,%total	86.1			87			86.1		
Average VMA,%	13.9			13			13.9		
Average Air Void,%	4.8			2.6			2.5		
Average VFB,%	65.7			79.8			82.3		
Average Stability,lb	2453			2488			2440		
Average Flow,(l/100")	14			15			15		





รูปที่ ก.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.9 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

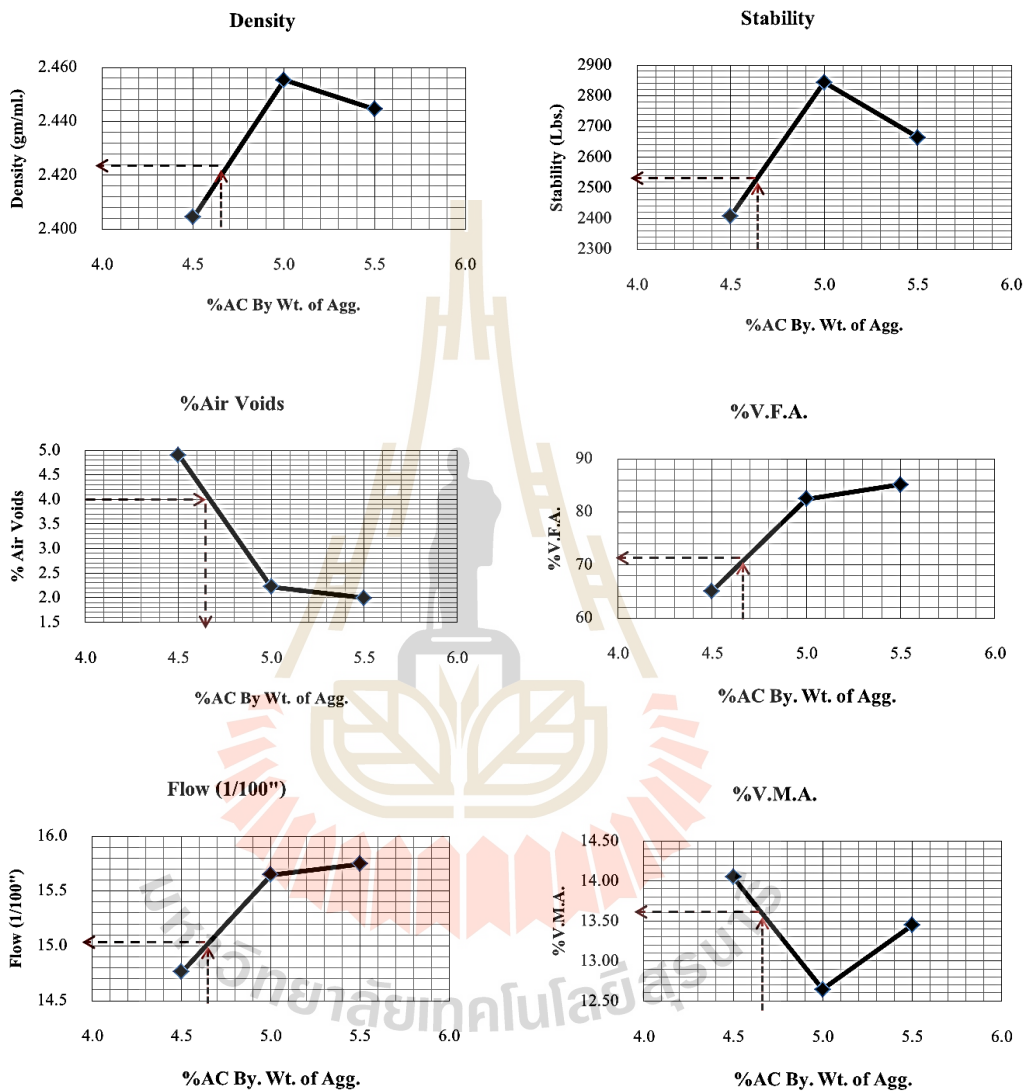
% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.66			101.53			101.6	
H		63.47			62.96			63.07	
Average Bulk volume		510.16			497.61			500.44	
Average Density		2.405			2.455			2.444	
Average Vol AC,%total		9.1			10.4			11.5	
Average Vol Agg,%total		86.1			87.4			86.6	
Average VMA,%		14			12.6			13.4	
Average Air Void,%		4.9			2.2			2	
Average VFB,%		65.1			82.4			85.2	
Average Stability,lb		2408			2844			2664	
Average Flow,(l/100")		15			16			16	





รูปที่ ก.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่างๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.10 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

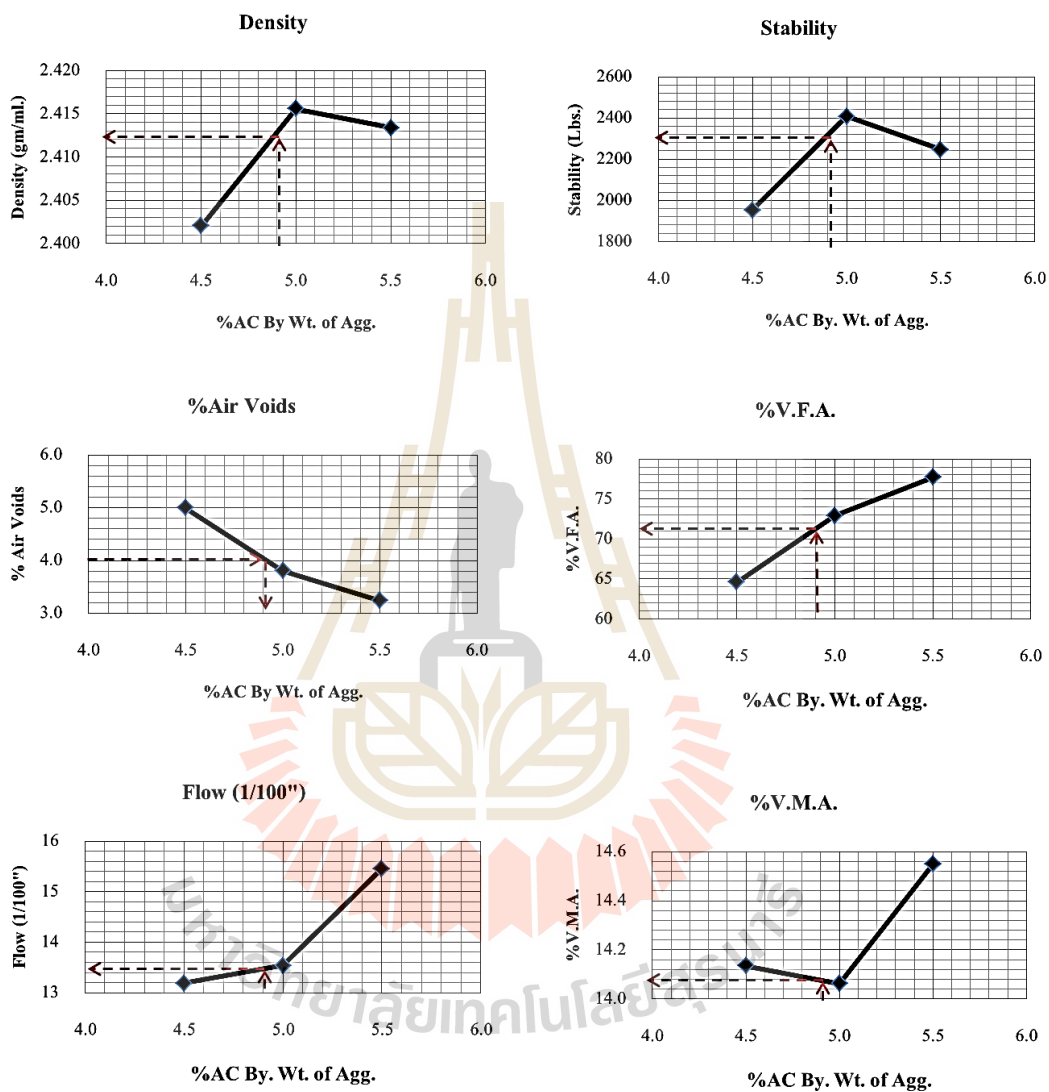
อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.4			101.45			101.73		
H	63.62			64.55			64.59		
Average Bulk volume	511.04			508.85			507.88		
Average Density	2.402			2.416			2.413		
Average Vol AC,%total	9.1			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.1			85.9			85.5		
Average VMA,%	14.1			14.1			14.5		
Average Air Void,%	5			3.8			3.2		
Average VFB,%	64.6			72.9			77.7		
Average Stability,lb	1954			2408			2246		
Average Flow,(l/100")	13			14			15		



รูปที่ ก.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

ตาราง ก.11 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

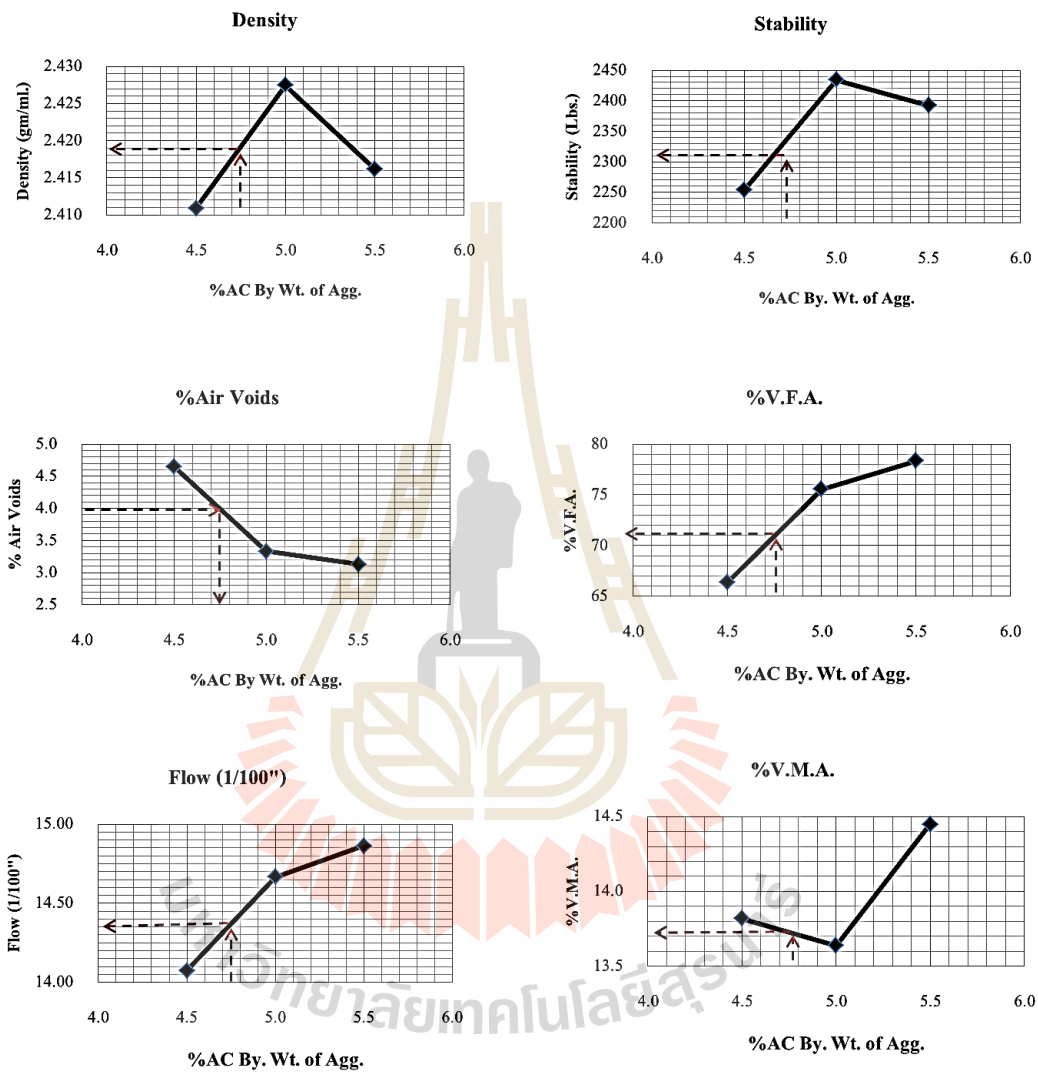
% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.84			101.83			102.03		
H	64.69			63.66			63.80		
Average Bulk volume	507.54			505.07			507.71		
Average Density	2.411			2.427			2.416		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.1			86.4			85.6		
Average VMA,%	13.8			13.6			14.4		
Average Air Void,%	4.6			3.3			3.1		
Average VFB,%	66.4			75.6			78.3		
Average Stability,lb	2254			2434			2392		
Average Flow,(l/100")	14			15			15		





รูปที่ ก.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

ตาราง ก.12 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

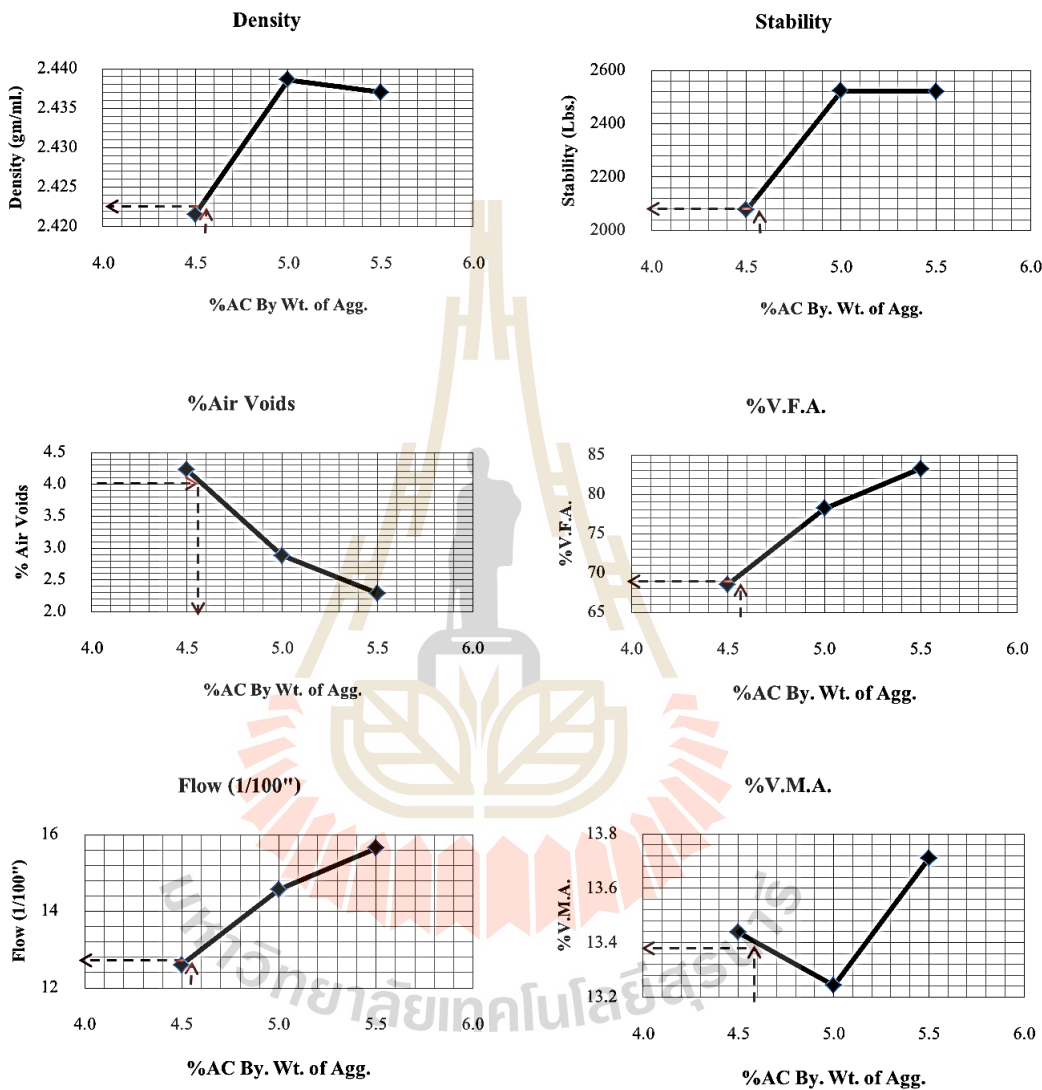
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.74			101.45			101.63		
H	64.5			64.46			64.72		
Average Bulk volume	506.93			503.56			507.90		
Average Density	2.422			2.439			2.437		
Average Vol AC,%total	9.2			10.4			11.4		
Average Vol Agg,%total	86.6			86.8			86.3		
Average VMA,%	13.4			13.2			13.7		
Average Air Void,%	4.2			2.9			2.3		
Average VFB,%	68.5			78.2			83.3		
Average Stability,lb	2077			2523			2522		
Average Flow,(l/100")	13			15			16		





รูปที่ ก.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม
 อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

ตาราง ก.13 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

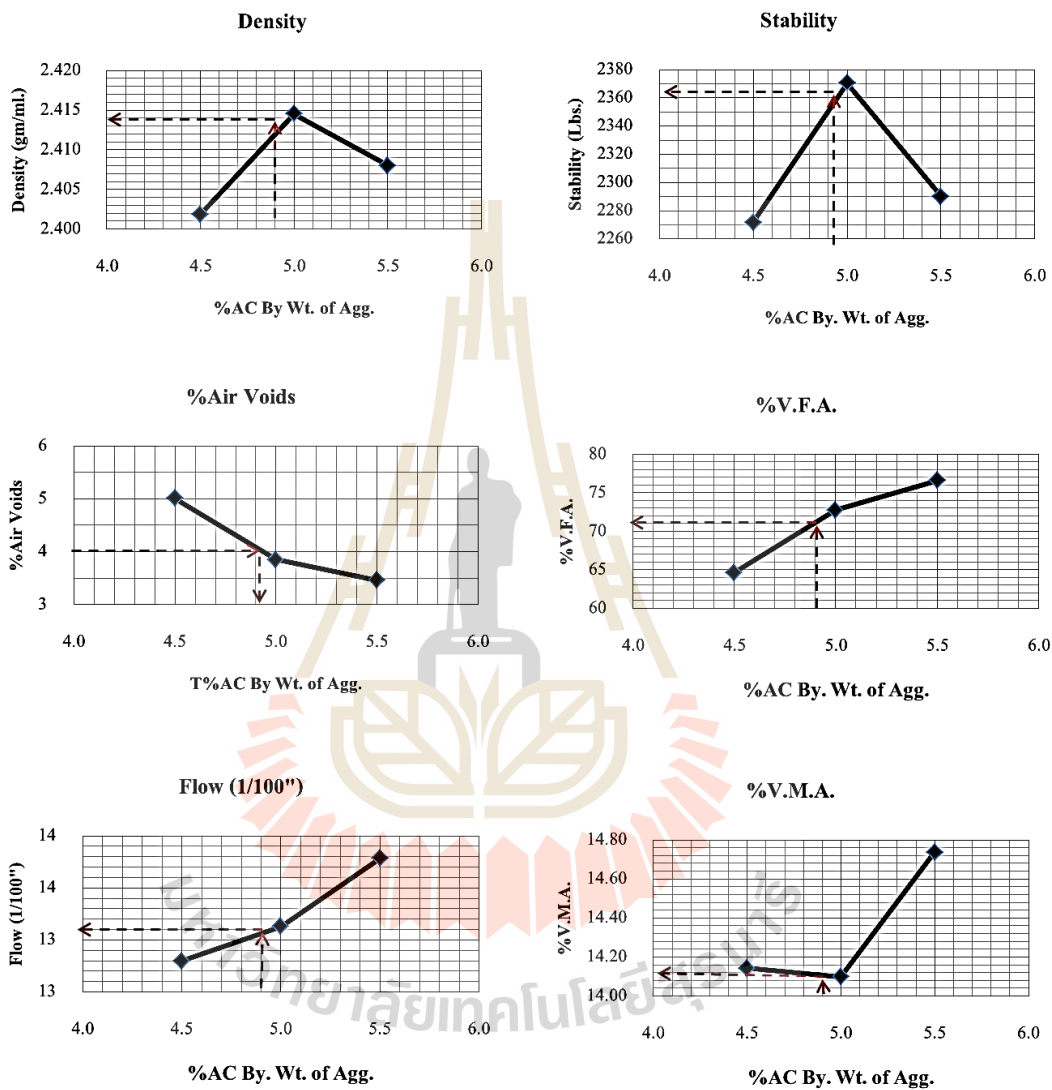
% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.55			101.59			101.66	
H		65.98			65.41			65.39	
Average Bulk volume		517.51			512.51			515.90	
Average Density		2.402			2.415			2.408	
Average Vol AC,%total		9.1			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		85.9			85.9			85.3	
Average VMA,%		14.1			14.1			14.7	
Average Air Void,%		5.0			3.8			3.5	
Average VFB,%		64.6			72.7			76.5	
Average Stability,lb		2272			2370			2290	
Average Flow,(l/100")		13			13			14	





รูปที่ ก.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.14 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

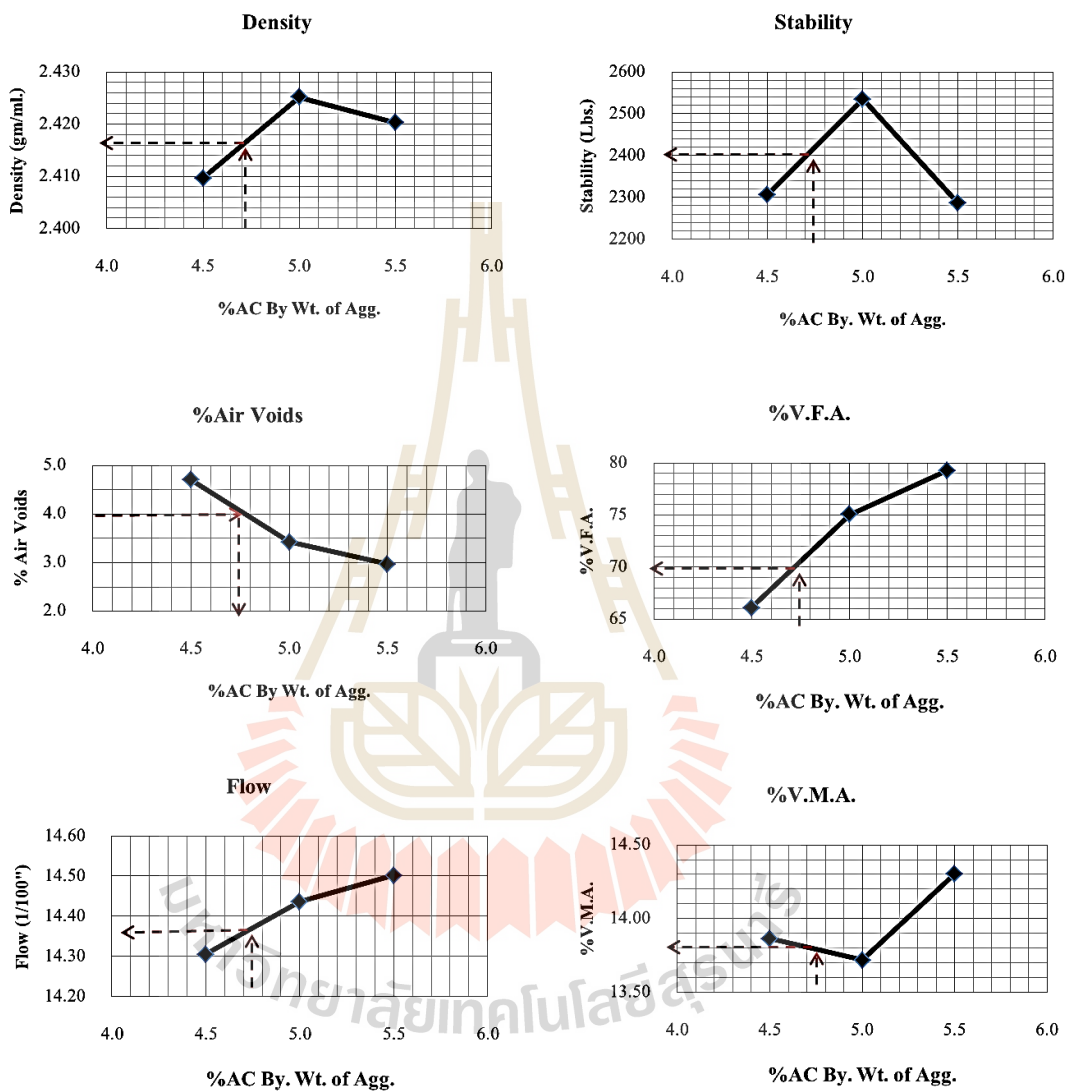
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.51			101.55			101.67		
H	65.16			65.05			65.41		
Average Bulk volume	514.64			511.70			511.92		
Average Density	2.410			2.425			2.420		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.1			86.3			85.7		
Average VMA,%	13.9			13.7			14.3		
Average Air Void,%	4.7			3.4			3.0		
Average VFB,%	66.1			75.1			79.3		
Average Stability,lb	2306			2534			2286		
Average Flow,(1/100")	14			14			15		



รูปที่ ก.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.15 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.76			101.78			101.54		
H	65.47			64.94			64.27		
Average Bulk volume	514.11			508.48			515.06		
Average Density	2.416			2.426			2.414		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.4			86.3			85.5		
Average VMA,%	13.6			13.7			14.5		
Average Air Void,%	4.4			3.4			3.2		
Average VFB,%	67.4			75.3			77.9		
Average Stability,lb	2244			2648			2678		
Average Flow,(1/100")	13			15			15		

ตาราง ก.16 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.73			101.43			101.40	
H		64.69			64.20			63.95	
Average Bulk volume		515.71			513.96			514.81	
Average Density		2.402			2.415			2.409	
Average Vol AC,%total		9.1			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		85.8			85.9			85.3	
Average VMA,%		14.2			14.1			14.7	
Average Air Void,%		5.0			3.8			3.4	
Average VFB,%		64.6			72.9			76.8	
Average Stability,lb		2453			2610			2594	
Average Flow,(l/100")		15			15			16	

ตาราง ก.17 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.59			101.8			102.02	
H		64.32			63.85			64.18	
Average Bulk volume		512.98			512.74			515.07	
Average Density		2.412			2.423			2.416	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.2			86.2			85.6	
Average VMA,%		13.8			13.8			14.4	
Average Air Void,%		4.6			3.5			3.1	
Average VFB,%		66.7			3.5			3.1	
Average Stability,lb		2331			2674			2533	
Average Flow,(l/100")		15			15			16	

ตาราง ก.18 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.39			101.45			101.67	
H		63.45			63.75			62.85	
Average Bulk volume		511.11			506.33			506.08	
Average Density		2.409			2.434			2.431	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.4	
Average Vol Agg,%total		86.1			86.6			86.1	
Average VMA,%		13.9			13.4			13.9	
Average Air Void,%		4.7			3.1			2.5	
Average VFB,%		66			77.1			81.8	
Average Stability,lb		2346			2557			2533	
Average Flow,(l/100")		14			15			16	



ตาราง ก.19 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

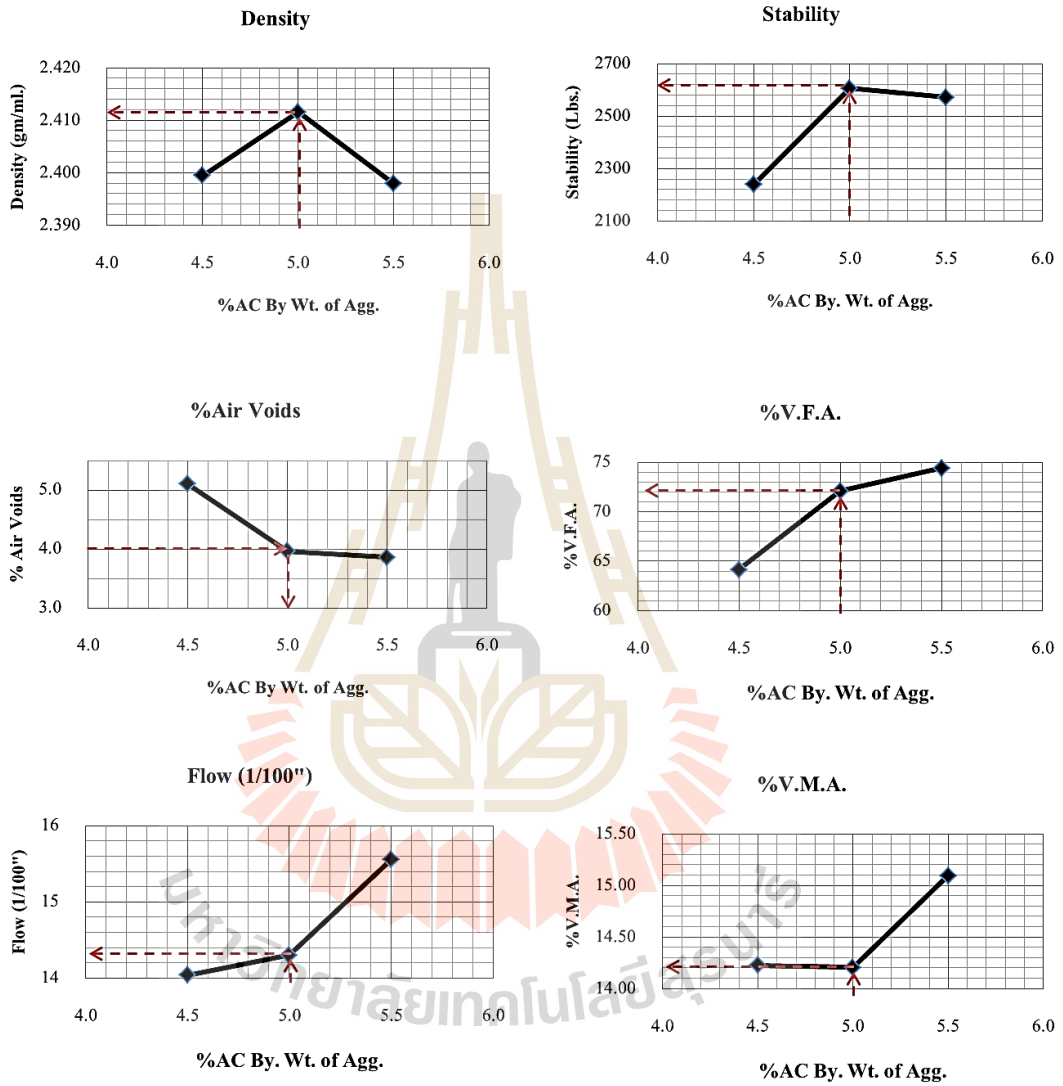
% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.62			101.50			101.52	
H		63.13			63.80			63.45	
Average Bulk volume		511.35			510.64			510.17	
Average Density		2.399			2.412			2.398	
Average Vol AC,%total		9.1			10.2			11.2	
Average Vol Agg,%total		85.8			85.8			84.9	
Average VMA,%		14.2			14.2			15.1	
Average Air Void,%		5.1			4.0			3.9	
Average VFB,%		64.2			72.1			74.4	
Average Stability,lb		2239			2605			2571	
Average Flow,(l/100")		14			14			16	





รูปที่ ก.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.20 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

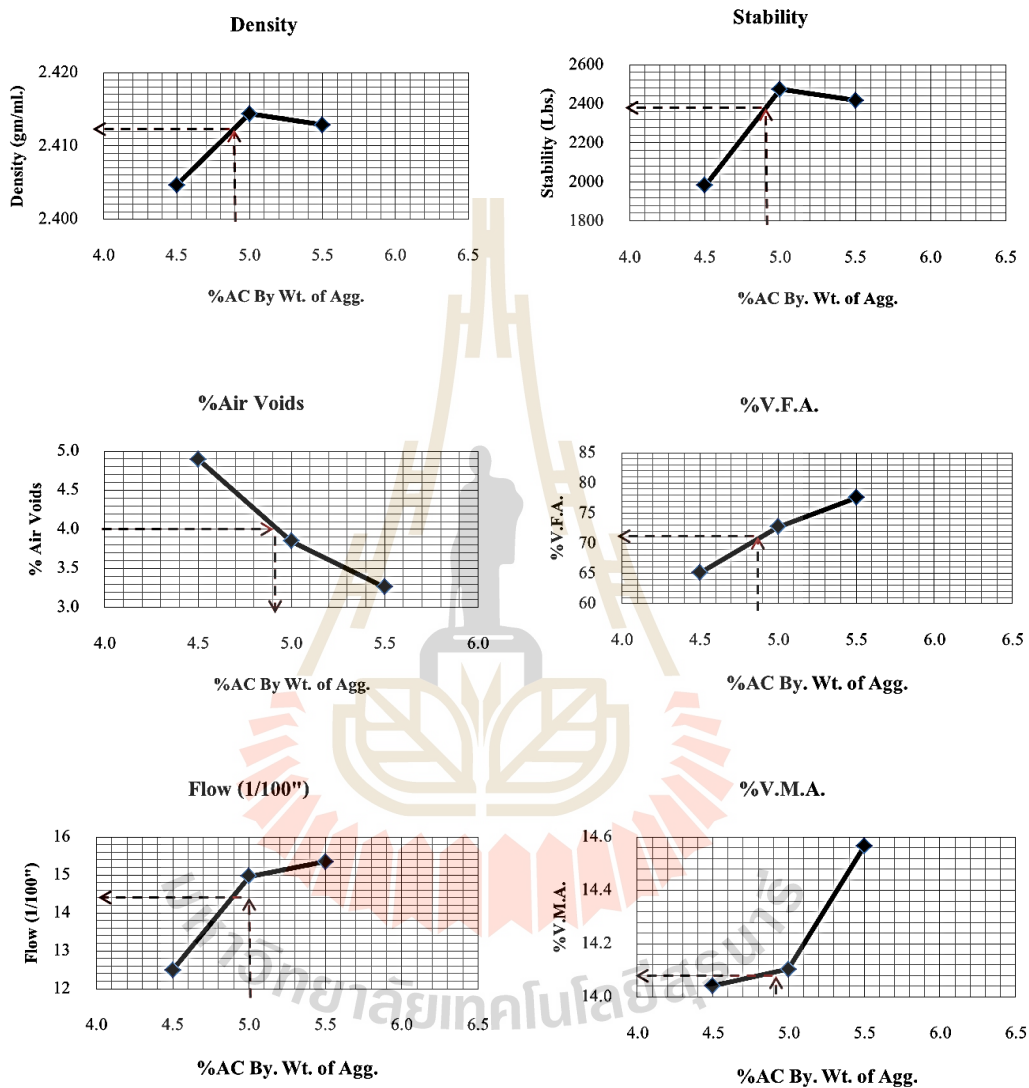
อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.60			101.59			101.43	
H		63.40			63.07			63.38	
Average Bulk volume		512.00			511.47			511.72	
Average Density		2.405			2.414			2.413	
Average Vol AC,%total		9.1			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.0			85.9			85.4	
Average VMA,%		14.0			14.1			14.6	
Average Air Void,%		4.9			3.9			3.3	
Average VFB,%		65.1			72.7			77.6	
Average Stability,lb		1981			2474			2475	
Average Flow,(1/100")		13			15			15	



รูปที่ ก.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่างๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.21 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.69			101.81			101.57	
H		63.31			63.17			63.11	
Average Bulk volume		506.78			508.70			512.17	
Average Density		2.414			2.415			2.406	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.3			86			85.2	
Average VMA,%		13.7			14.1			14.8	
Average Air Void,%		4.5			3.8			3.5	
Average VFB,%		66.9			73			76.1	
Average Stability,lb		2259			2447			2437	
Average Flow,(l/100")		14			14			15	



ตาราง ก.22 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.4			101.40			101.73	
H		63.62			64.22			64.59	
Average Bulk volume		510.81			507.54			509.63	
Average Density		2.403			2.414			2.403	
Average Vol AC,%total		9.1			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		85.9			85.9			85.1	
Average VMA,%		14.1			14.1			14.9	
Average Air Void,%		4.9			3.9			3.7	
Average VFB,%		64.9			72.6			75.5	
Average Stability,lb		2248			2505			2474	
Average Flow,(l/100")		14			14			15	

ตาราง ก.23 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

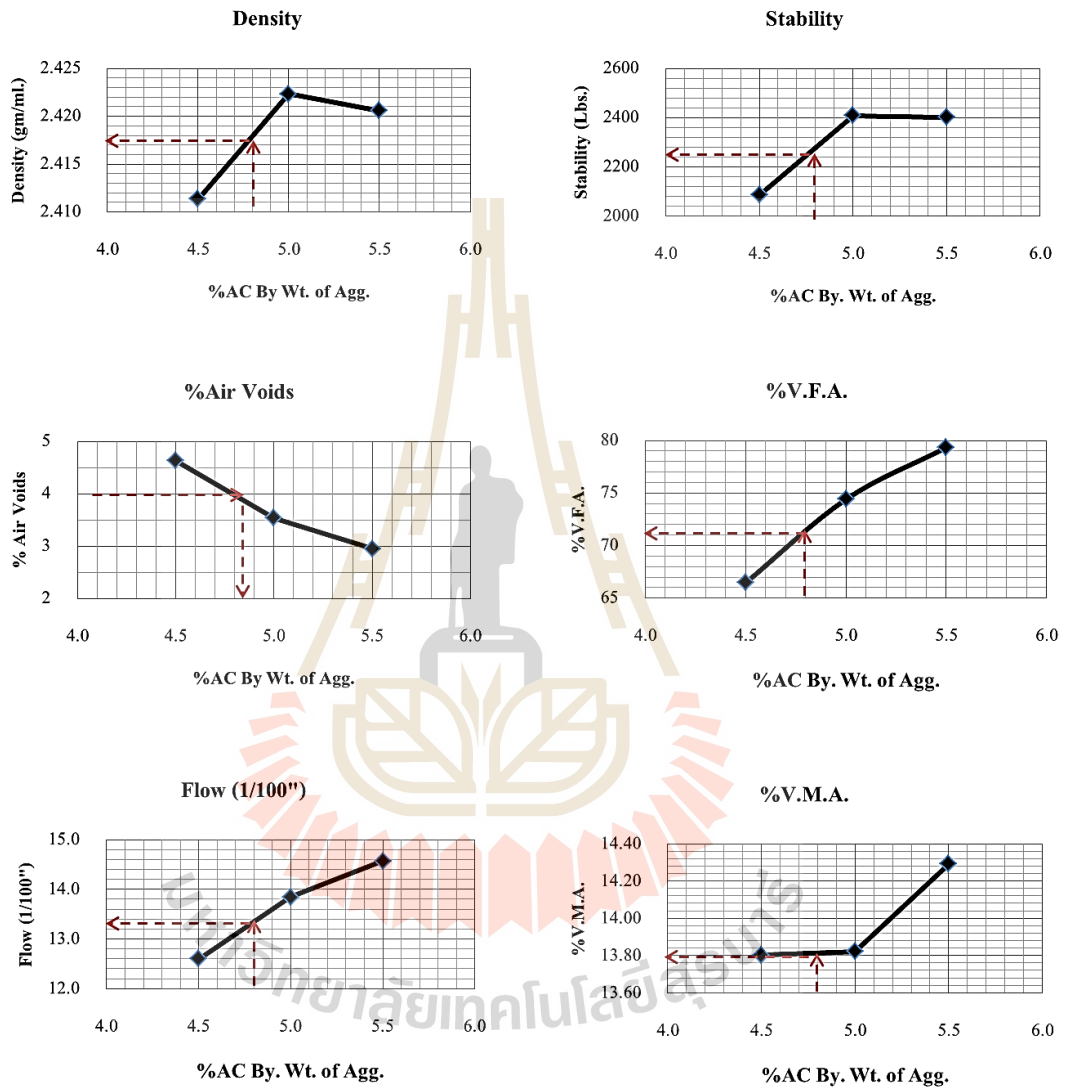
% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.35			101.81			101.79	
H		63.65			64.04			63.43	
Average Bulk volume		509.38			506.85			509.50	
Average Density		2.411			2.422			2.421	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.2			86.2			85.7	
Average VMA,%		13.8			13.8			14.3	
Average Air Void,%		4.6			3.5			3	
Average VFB,%		66.5			74.4			79.3	
Average Stability,lb		2086			2408			2402	
Average Flow,(l/100")		13			14			15	





รูปที่ ก.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์
อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

อุณหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส

ตาราง ก.24 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.59			101.58			101.61	
H		63.23			63.41			63.63	
Average Bulk volume		507.57			502.79			503.15	
Average Density		2.415			2.447			2.433	
Average Vol AC,%total		9.2			10.4			11.4	
Average Vol Agg,%total		86.3			87.1			86.5	
Average VMA,%		13.7			12.9			13.5	
Average Air Void,%		4.5			2.5			2	
Average VFB,%		67.1			80.4			84.9	
Average Stability,lb		2046			2532			2344	
Average Flow,(l/100")		12			14			15	

ตาราง ก.25 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

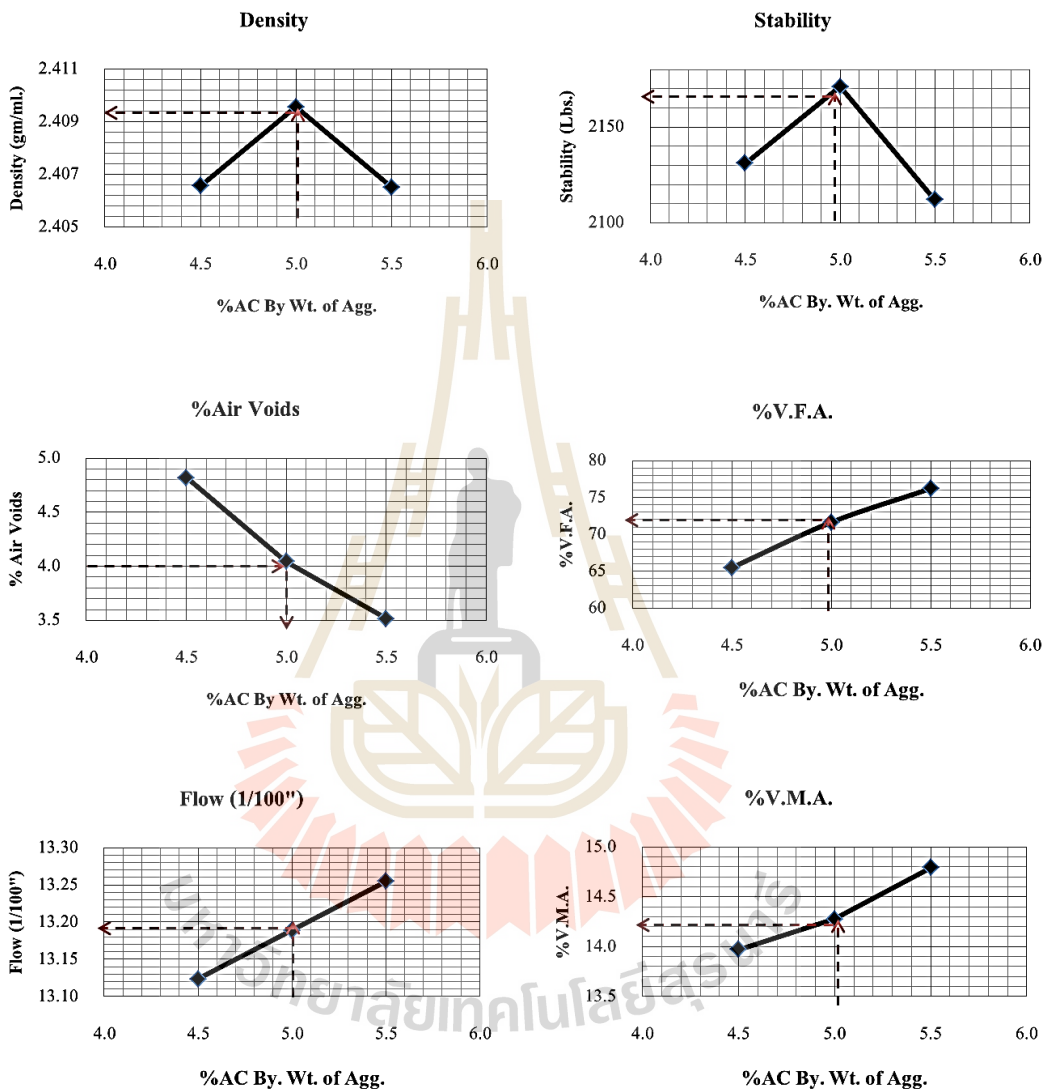
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.73			101.39			101.55	
H		65.9			65.12			64.74	
Average Bulk volume		518.04			517.38			510.37	
Average Density		2.407			2.410			2.407	
Average Vol AC,%total		9.2			10.2			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.0			85.7			85.2	
Average VMA,%		14			14.3			14.8	
Average Air Void,%		4.8			4			3.5	
Average VFB,%		65.5			71.8			76.2	
Average Stability,lb		2131			2171			2112	
Average Flow,(l/100")		13			13			13	



รูปที่ ก.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

อุณหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส

ตาราง ก.26 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

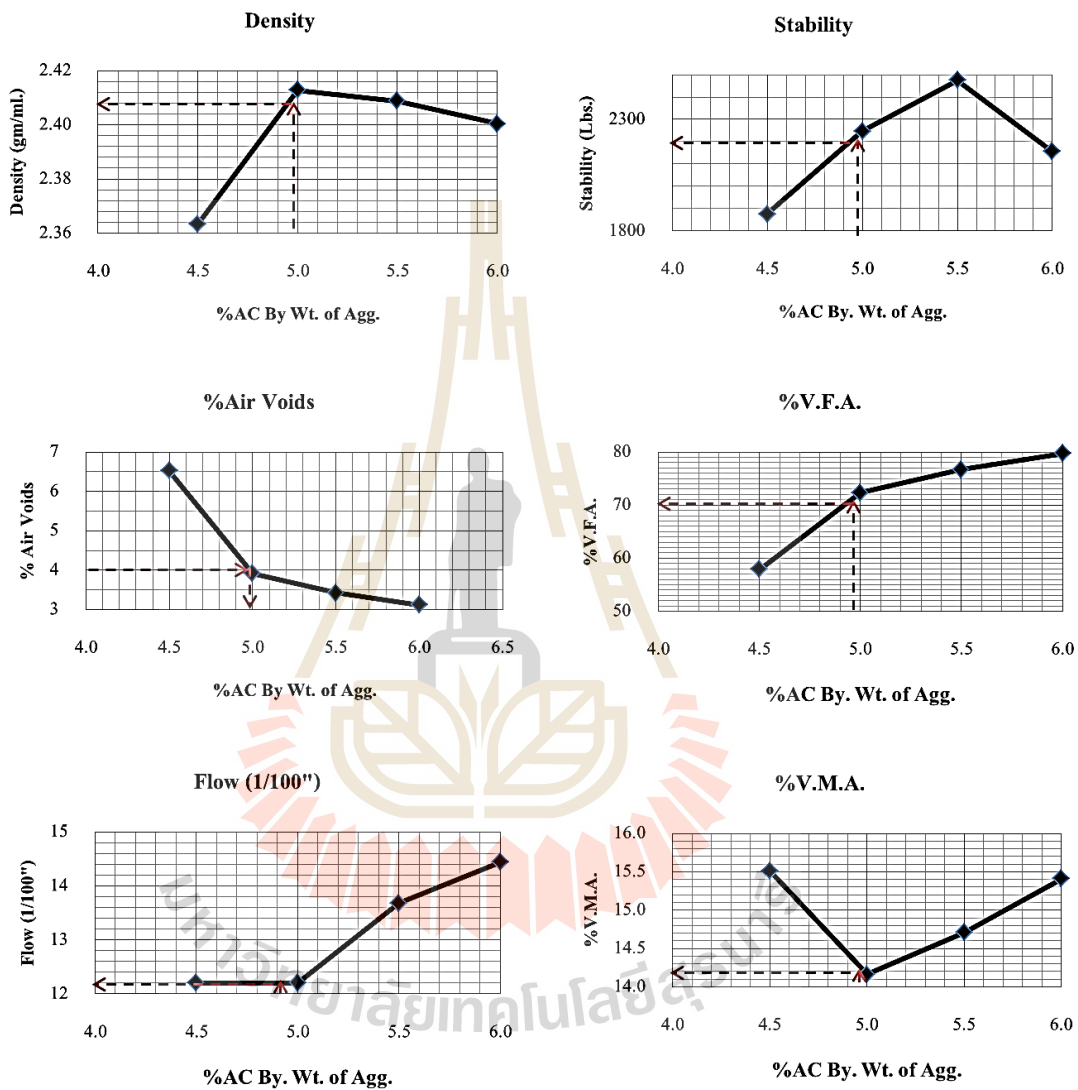
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5			6		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21			5.66		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84			5.29		
Spec. Hgt. D	101.52			101.83			101.61			101.67		
H	64.32			65.02			65.06			64.57		
Average Bulk volume	513.63			513.93			513.59			518.82		
Average Density	2.363			2.413			2.409			2.400		
Average Vol AC,%total	9.0			10.2			11.3			12.3		
Average Vol Agg,%total	84.5			85.8			85.3			84.6		
Average VMA,%	15.5			14.2			14.7			15.4		
Average Air Void,%	6.5			3.9			3.4			3.1		
Average VFB,%	57.9			72.3			76.7			79.7		
Average Stability,lb	1877			2247			2474			2157		
Average Flow,(1/100")	12			12			14			14		



รูปที่ ก.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลี อุนหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.27 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

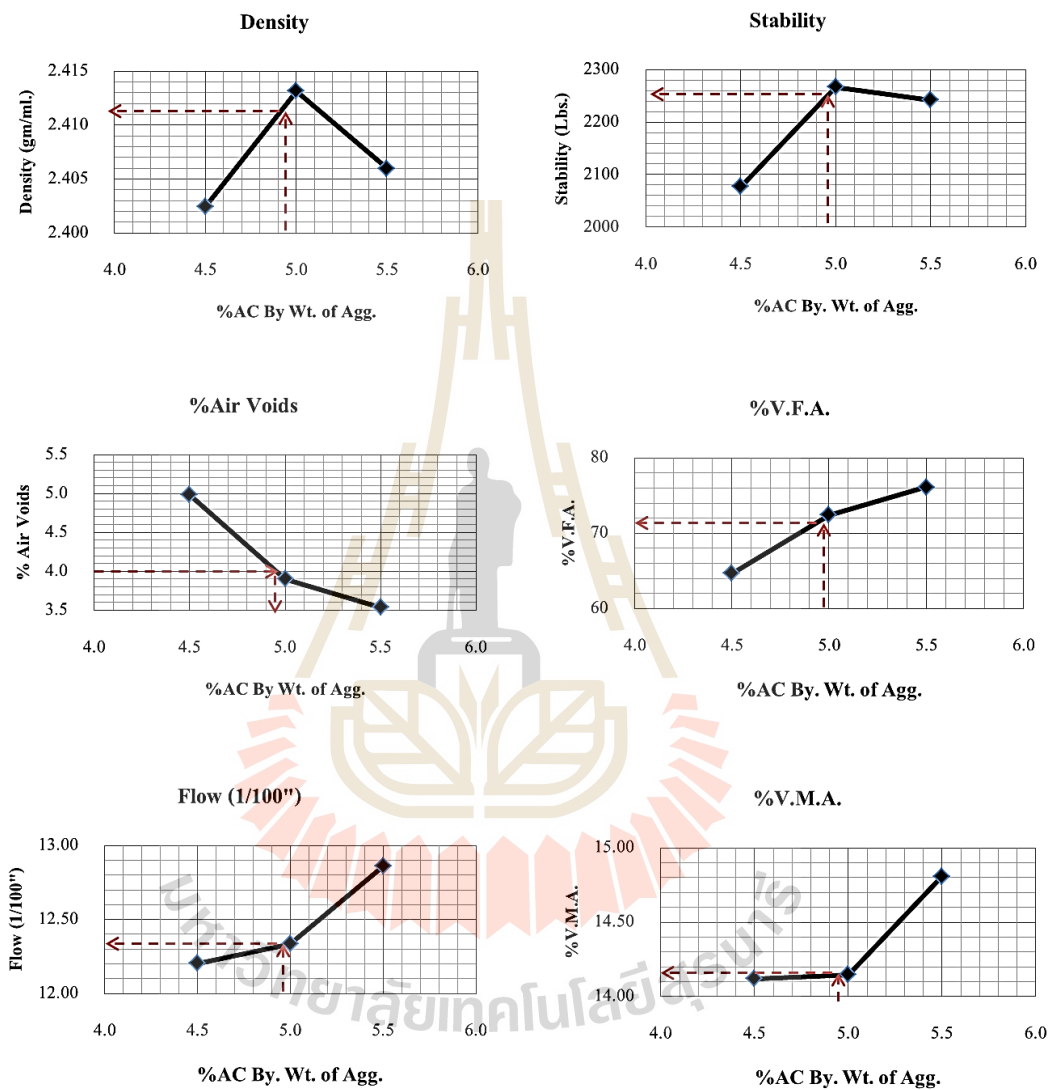
อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.48			101.7			101.53	
H		65.35			64.31			65	
Average Bulk volume		512.69			512.06			512.03	
Average Density		2.402			2.413			2.406	
Average Vol AC,%total		9.1			10.2			11.3	
Average Vol Agg,%total		85.9			85.9			85.2	
Average VMA,%		14.1			14.1			14.8	
Average Air Void,%		5.0			3.9			3.5	
Average VFB,%		64.7			72.4			76.1	
Average Stability,lb		2077			2266			2242	
Average Flow,(l/100")		12			12			13	



รูปที่ ก.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีอุนหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

ตาราง ก.28 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

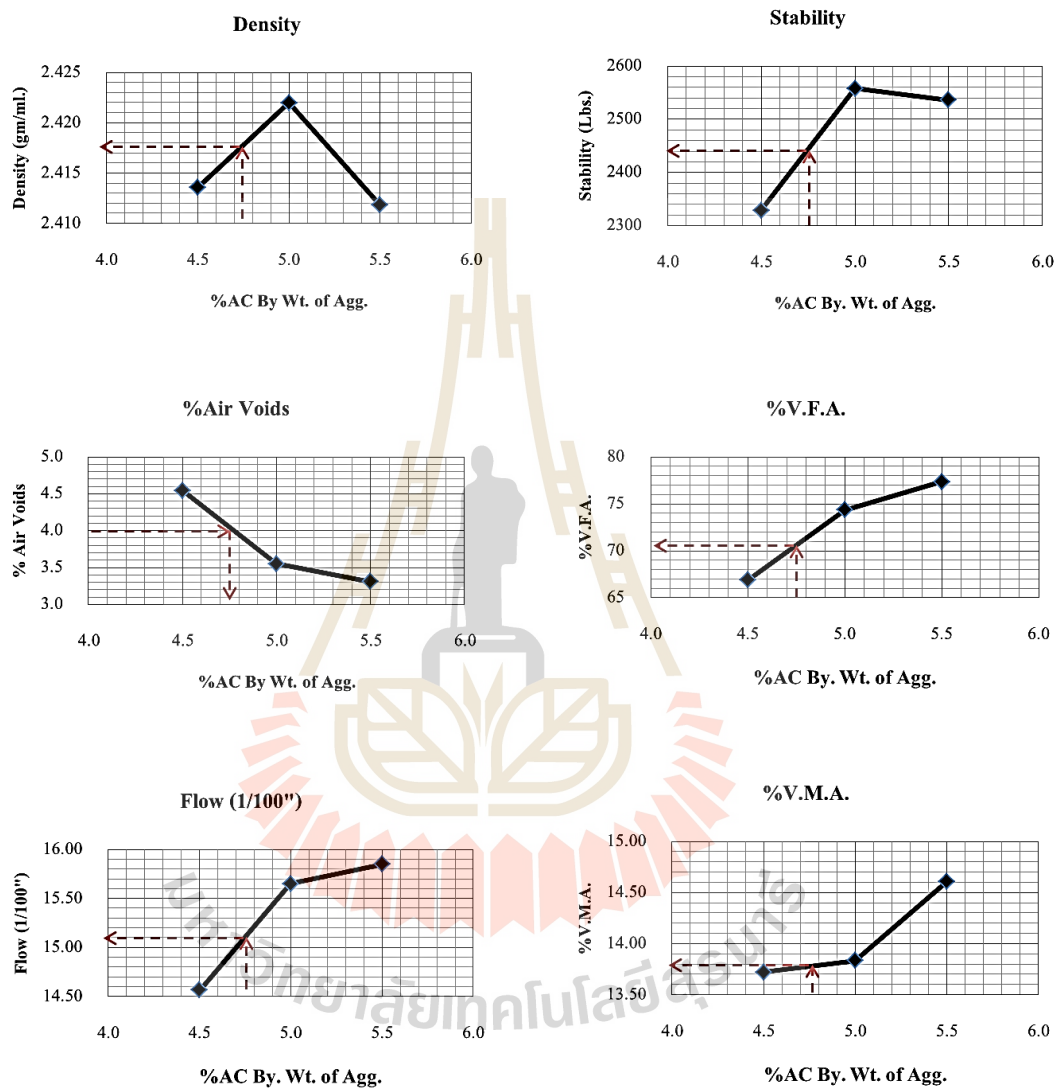
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.71			101.77			101.87	
H		64.75			64.72			65.2	
Average Bulk volume		512.77			511.83			514.33	
Average Density		2.414			2.422			2.412	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.3			86.2			85.4	
Average VMA,%		13.7			13.8			14.6	
Average Air Void,%		4.5			3.6			3.3	
Average VFB,%		66.9			74.3			77.4	
Average Stability,lb		2329			2558			2536	
Average Flow,(l/100")		15			16			16	





รูปที่ ก.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลี อุนหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

ตาราง ก.29 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

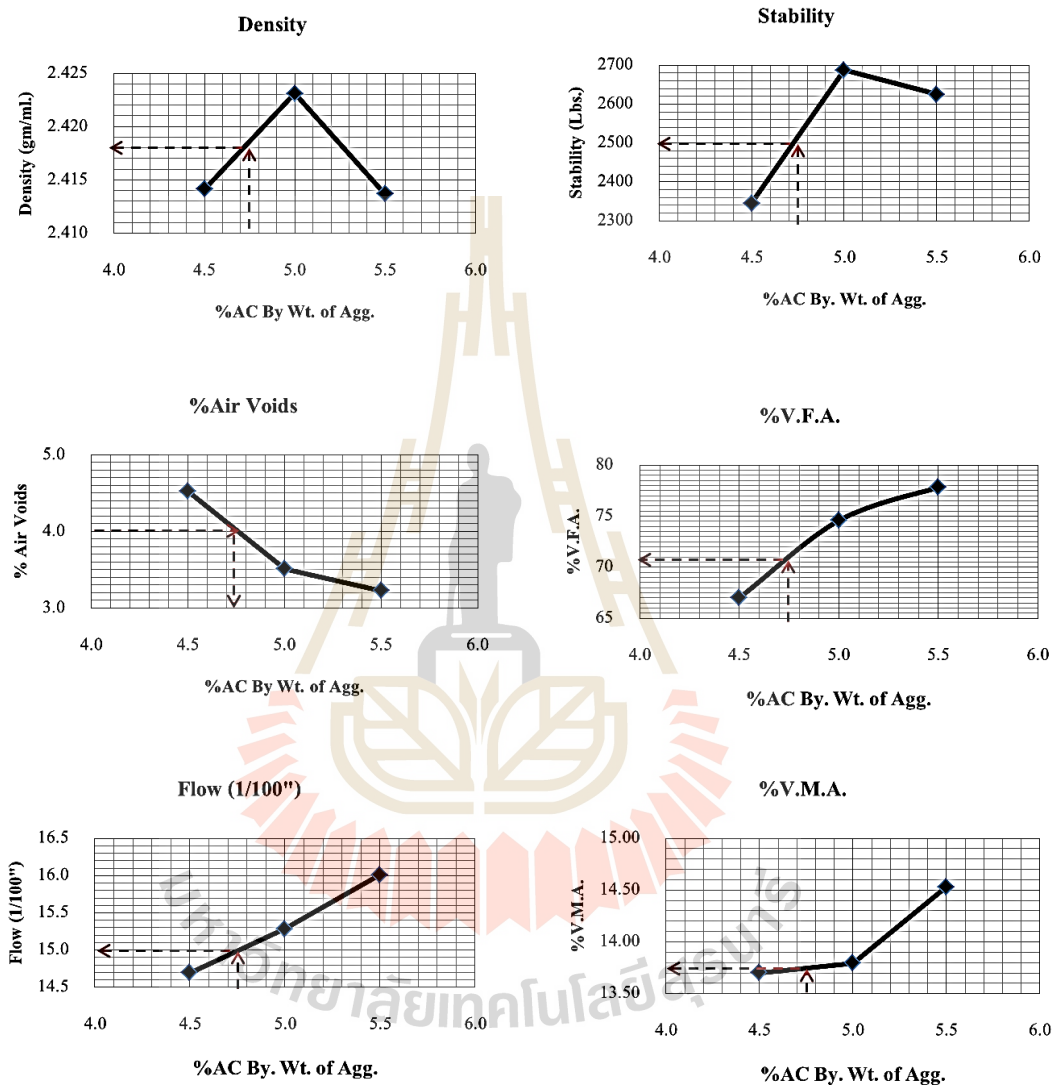
อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.47			101.51			101.73		
H	63.35			63.97			63.99		
Average Bulk volume	507.88			502.49			513.70		
Average Density	2.414			2.423			2.414		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.3			86.3			85.5		
Average VMA,%	13.7			13.8			14.5		
Average Air Void,%	4.5			3.5			3.2		
Average VFB,%	67.0			74.9			77.8		
Average Stability,lb	2346			2687			2625		
Average Flow,(1/100")	15			15			16		



รูปที่ ก.29 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลี อุนหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

ตาราง ก.30 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

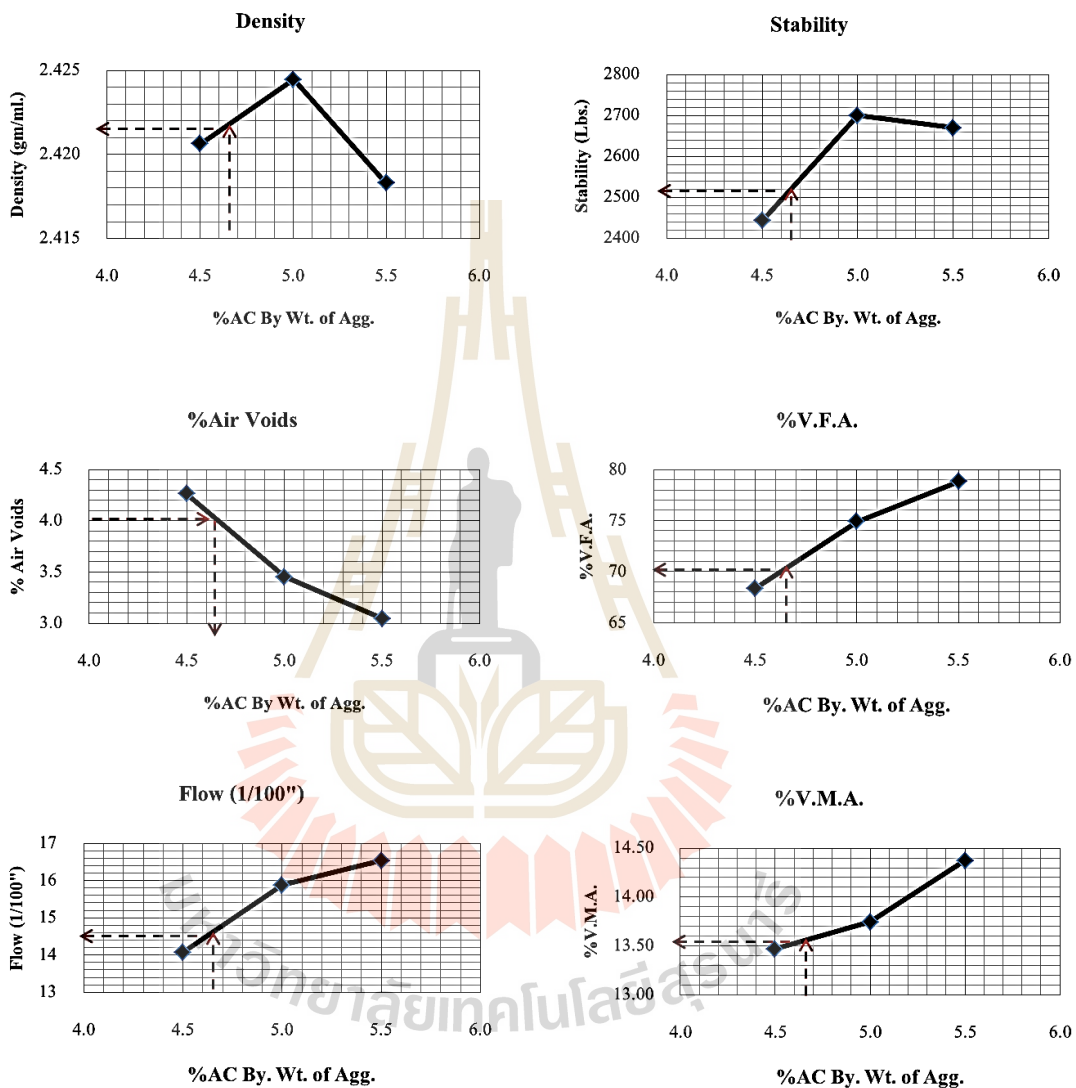
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)	4.5			5			5.5		
%AC by Mass of Mix (b.)	4.31			4.76			5.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)	3.93			4.39			4.84		
Spec. Hgt. D	101.6			101.68			101.7		
H	64.41			64.2			65.03		
Average Bulk volume	509.9			513.41			511		
Average Density	2.421			2.424			2.418		
Average Vol AC,%total	9.2			10.3			11.3		
Average Vol Agg,%total	86.5			86.3			85.6		
Average VMA,%	13.5			13.7			14.4		
Average Air Void,%	4.3			3.5			3		
Average VFB,%	68.4			74.9			78.8		
Average Stability,lb	2443			2700			2670		
Average Flow,(l/100")	14			16			17		





รูปที่ ก.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลี อุนหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

ตาราง ก.31 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

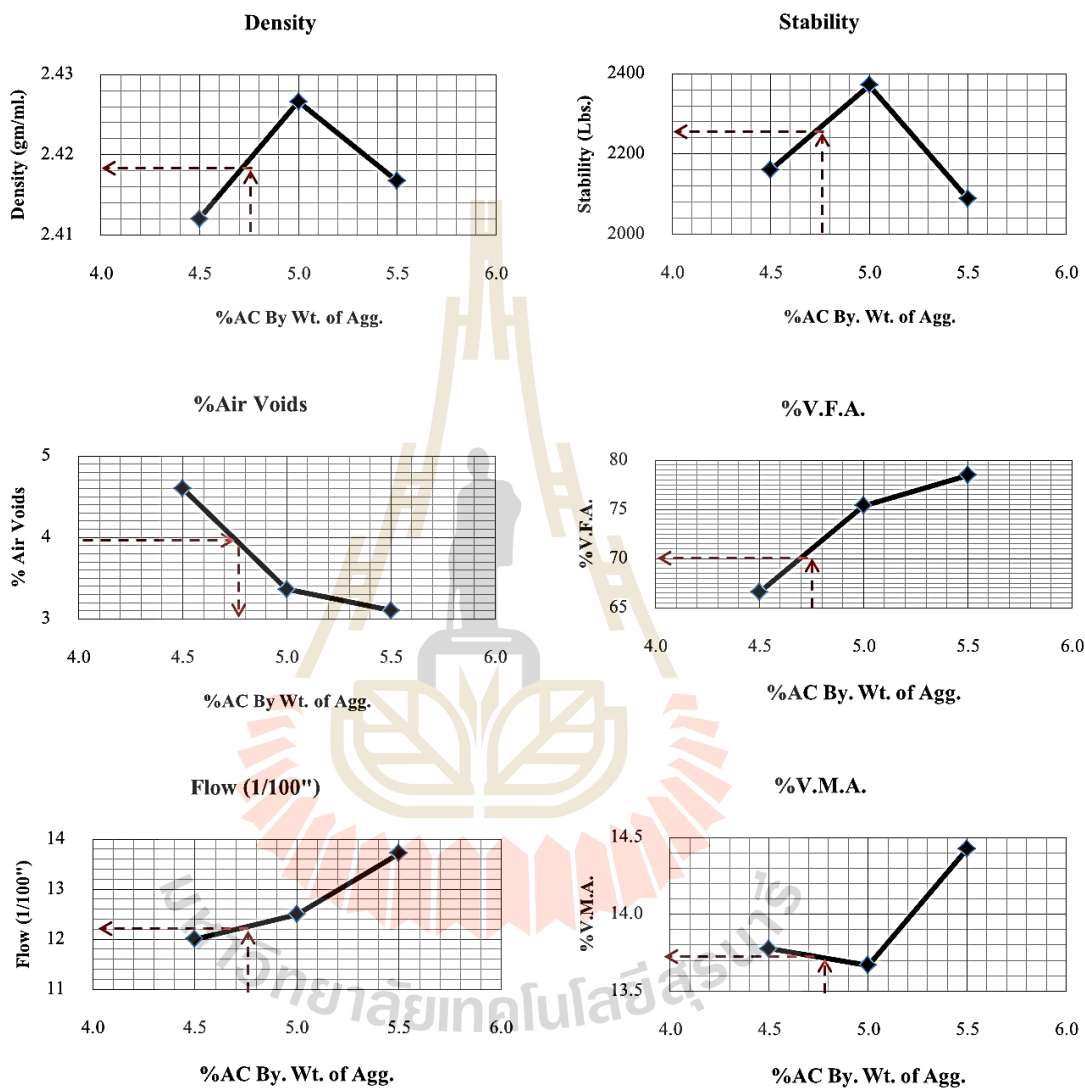
อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.53			101.78			101.67	
H		64.25			63.57			63.94	
Average Bulk volume		510.1			509.83			511.22	
Average Density		2.412			2.427			2.417	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.2			86.3			85.6	
Average VMA,%		13.8			13.7			14.4	
Average Air Void,%		4.6			3.4			3.1	
Average VFB,%		66.6			75.4			78.5	
Average Stability,lb		2161			2371			2089	
Average Flow,(l/100")		12			13			14	



รูปที่ ก.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่างๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลี อุนหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.32 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

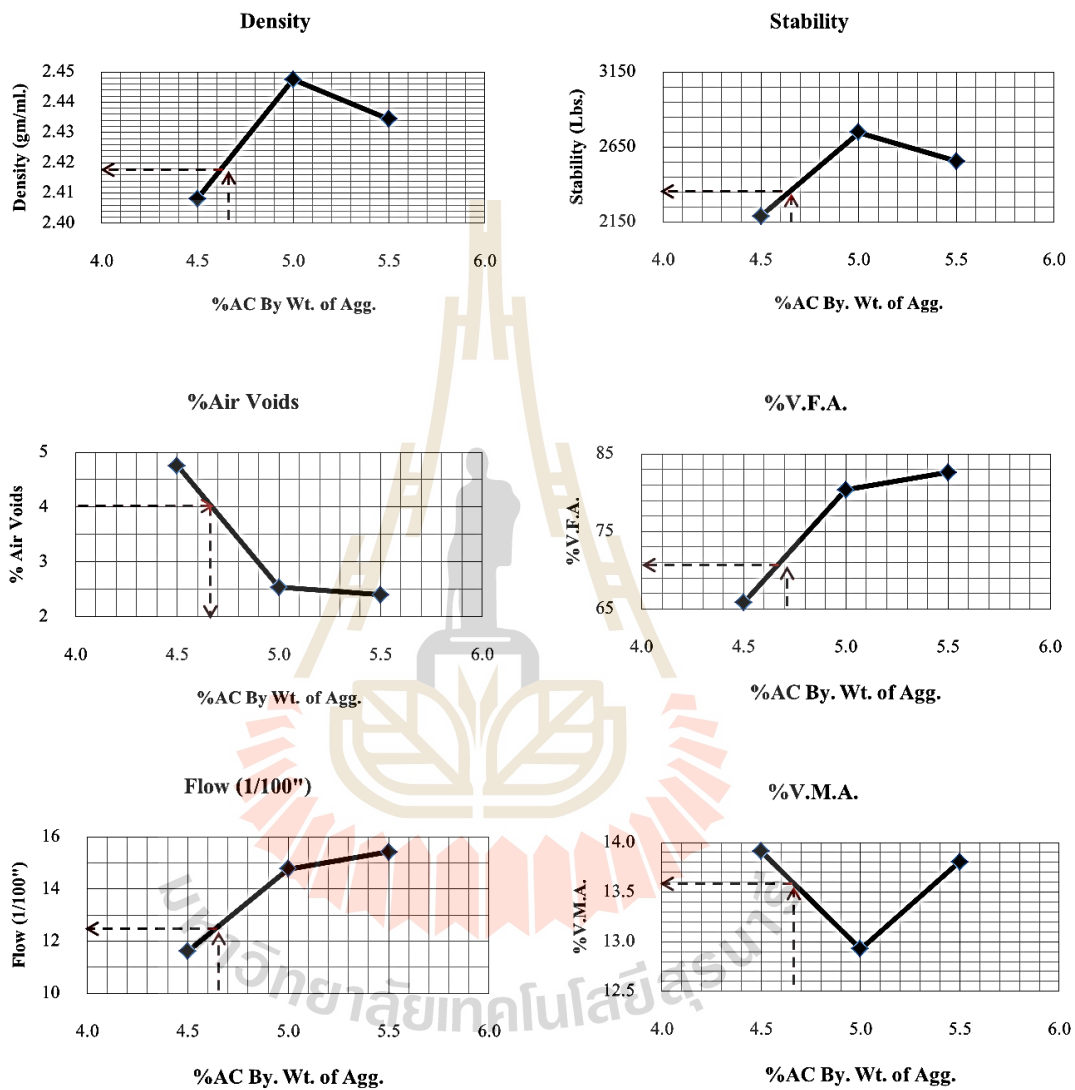
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.77			101.7			101.45	
H		63.87			63.77			63.44	
Average Bulk volume		510.32			504.17			502.27	
Average Density		2.408			2.447			2.434	
Average Vol AC,%total		9.2			10.4			11.4	
Average Vol Agg,%total		86.1			87.1			86.2	
Average VMA,%		13.9			12.9			13.8	
Average Air Void,%		4.8			2.5			2.4	
Average VFB,%		65.8			80.4			82.6	
Average Stability,lb		2189			2748			2555	
Average Flow,(l/100")		12			15			15	





รูปที่ ก.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลี อุนหภูมิผสม : 150 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

ตาราง ก.33 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

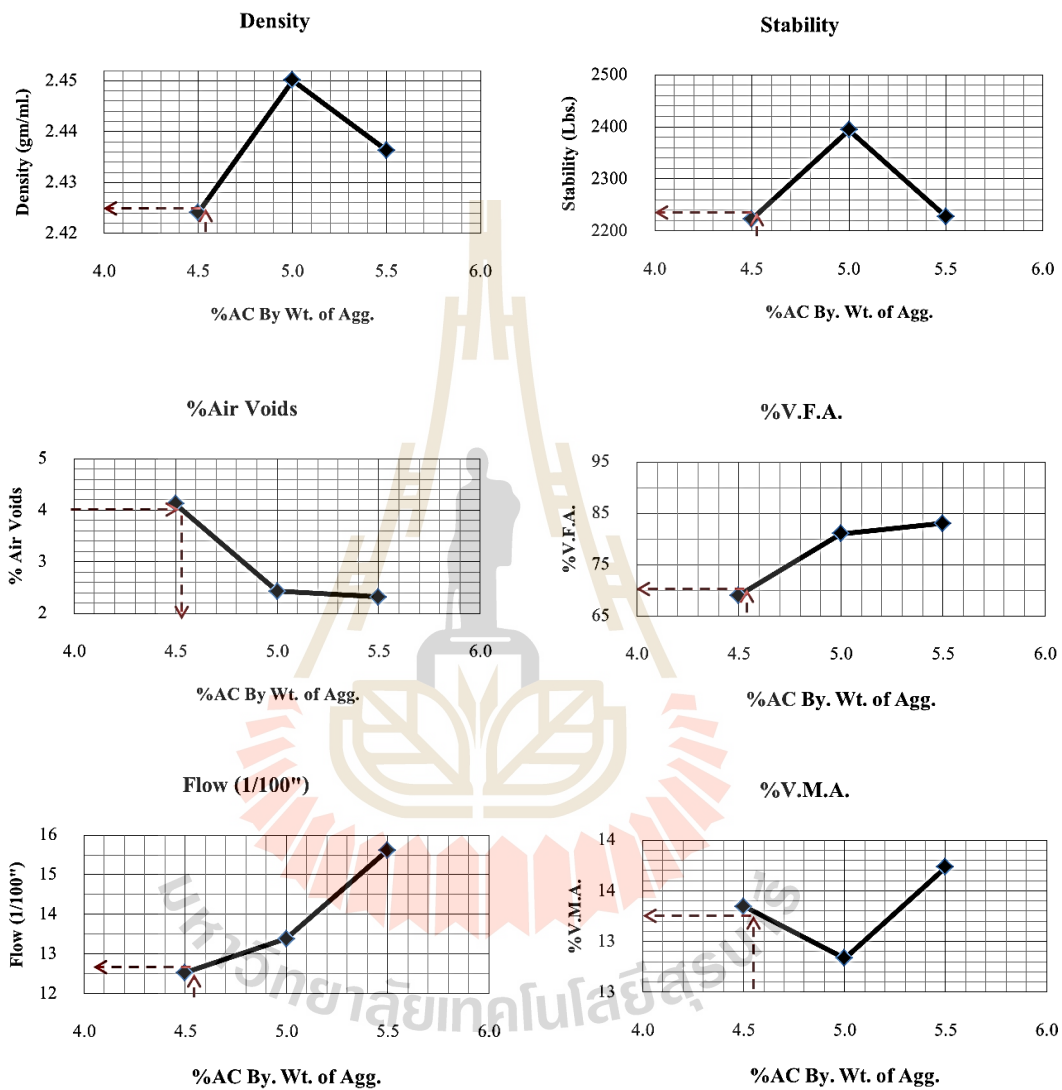
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		102.15			101.98			101.80	
H		63.64			62.66			63.55	
Average Bulk volume		507.75			501.14			504.44	
Average Density		2.424			2.450			2.436	
Average Vol AC,%total		9.2			10.4			11.4	
Average Vol Agg,%total		86.7			87.2			86.3	
Average VMA,%		13.3			12.8			13.7	
Average Air Void,%		4.1			2.4			2.3	
Average VFB,%		69.1			81.1			83.1	
Average Stability,lb		2223			2394			2445	
Average Flow,(1/100")		13			13			16	





รูปที่ ก.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีอูรีเทน
 อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส

ตาราง ก.34 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

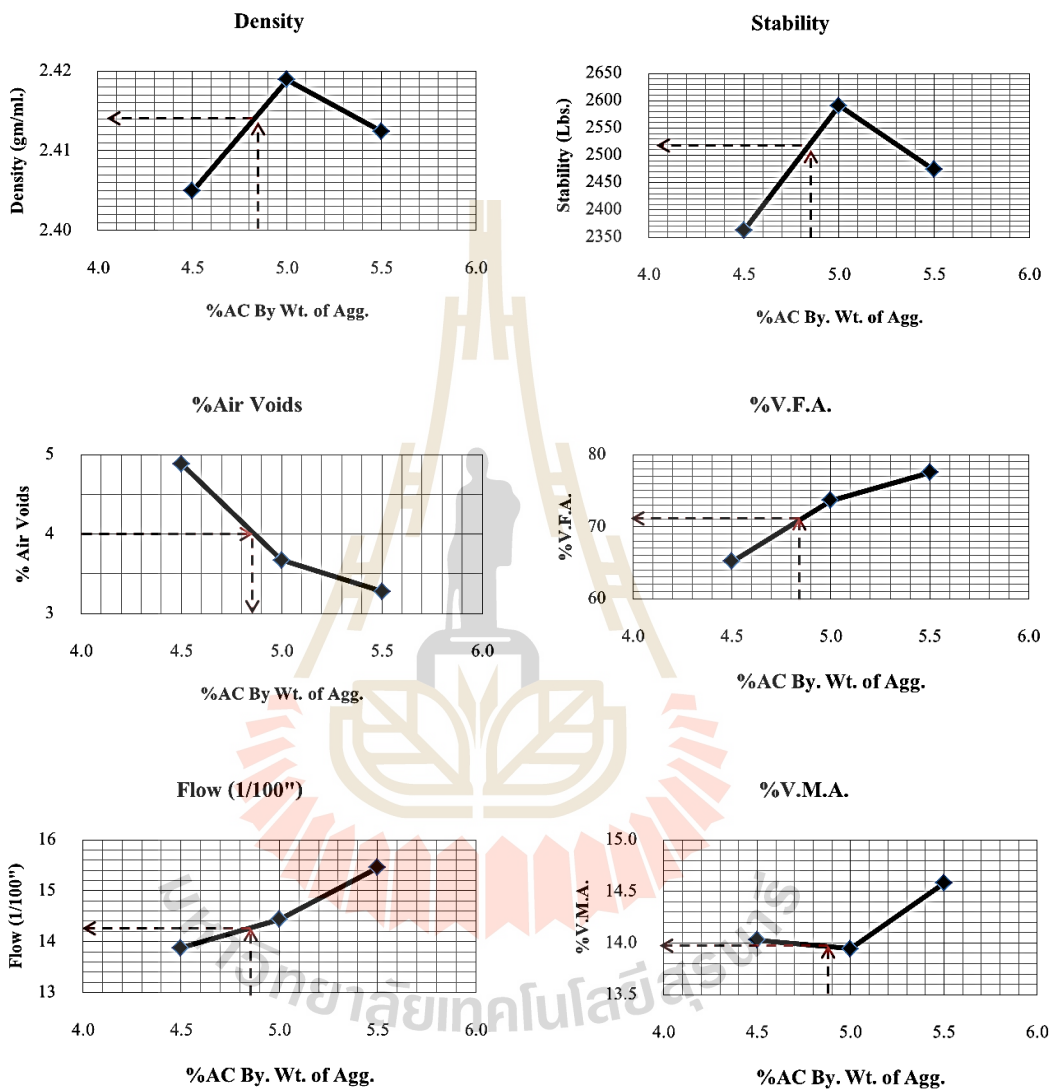
% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.44			101.46			101.6	
H		65.24			64.39			64.14	
Average Bulk volume		507.87			509.94			510.10	
Average Density		2.405			2.419			2.412	
Average Vol AC,%total		9.1			10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86			86.3			85.4	
Average VMA,%		14.0			13.9			14.6	
Average Air Void,%		4.9			3.7			3.3	
Average VFB,%		65.2			73.7			77.5	
Average Stability,lb		2363			2591			2474	
Average Flow,(l/100")		14			14			15	





รูปที่ ก.34 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีอุนหภูมิผสม : 130 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

ตาราง ก.35 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(G_{ac}) = 1.034

Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5			5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31			4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93			4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.65			101.71			101.54	
H		63.39			63.62			63.02	
Average Bulk volume		508.76			508.62			507.45	
Average Density		2.412			2.427			2.425	
Average Vol AC,%total		9.2			10.3			11.4	
Average Vol Agg,%total		86.2			86.3			85.9	
Average VMA,%		13.8			13.7			14.1	
Average Air Void,%		4.6			3.4			2.8	
Average VFB,%		66.6			75.4			80.3	
Average Stability,lb		2235			2814			2604	
Average Flow,(l/100")		13			16			16	

ตาราง ก.36 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

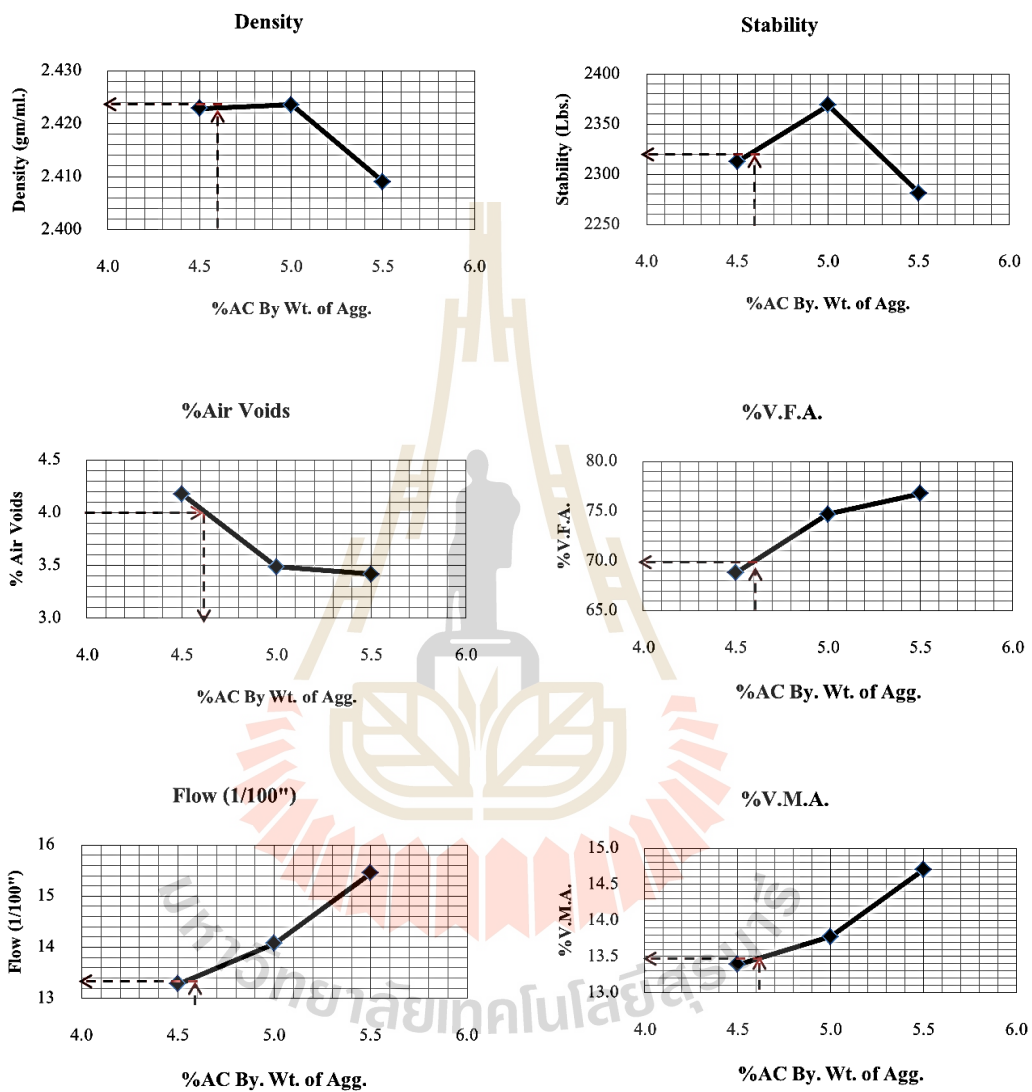
อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึ่มยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Sample	1	2	3	2	3	1	2	3
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.5		5			5.5	
%AC by Mass of Mix (b.)		4.31		4.76			5.21	
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		3.93		4.39			4.84	
Spec. Hgt. D		101.33		101.78			101.49	
H		63.62		62.95			63.56	
Average Bulk volume		506.03		508.49			510.43	
Average Density		2.423		2.424			2.409	
Average Vol AC,%total		9.2		10.3			11.3	
Average Vol Agg,%total		86.6		86.2			85.3	
Average VMA,%		13.4		13.8			14.7	
Average Air Void,%		4.2		3.5			3.4	
Average VFB,%		68.8		74.7			76.8	
Average Stability,lb		2313		2369			2420	
Average Flow,(1/100")		13		14			15	



รูปที่ ก.36 ความสัมพันธ์ระหว่าง % แอสฟัลต์ซีเมนต์ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลี
 อุณหภูมิผสม : 170 องศาเซลเซียส
 อัตราส่วนวัสดุ : 50:50



ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่าง
อากาศเท่ากับ 4%

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		5.15	5.03	4.98
%AC by Mass of Mix (b.)		4.90	4.79	4.74
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.53	4.42	4.37
Spec. Hgt. D		101.59	101.79	101.49
H		63.45	63.92	64.12.
Average Bulk volume		518.26	515.15	512.21
Average Density		2.409	2.409	2.410
Average Vol AC,%total		10.5	10.3	10.2
Average Vol Agg,%total		85.6	85.7	85.7
Average VMA,%		14.43	14.31	14.26
Average Air Void,%		3.89	4.01	4.07
Average VFA,%		73.08	71.95	71.44
Average Stability,lb		1979	2153	2172
Average Flow,(1/100")		8.56	11.51	12

ตาราง ข.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.78	4.69	4.65
%AC by Mass of Mix (b.)		4.56	4.48	4.44
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.19	4.11	4.07
Spec. Hgt. D		101.60	101.58	101.54
H		63.91	63.29	64.56
Average Bulk volume		510.93	512.68	512.67
Average Density		2.419	2.419	2.420
Average Vol AC,%total		9.80	9.61	9.53
Average Vol Agg,%total		86.23	86.33	86.37
Average VMA,%		13.77	13.67	14.26
Average Air Void,%		3.97	4.06	4.07
Average VFA,%		71.15	70.31	69.90
Average Stability,lb		2022	2243	2415
Average Flow,(1/100")		12.30	12.50	13.29

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.85	4.68	4.67
%AC by Mass of Mix (b.)		4.63	4.47	4.46
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.25	4.10	4.09
Spec. Hgt. D		101.56	101.38	101.79
H		63.23	63.27	62.90
Average Bulk volume		511.97	506.43	506.48
Average Density		2.414	2.422	2.418
Average Vol AC,%total		9.93	9.60	9.56
Average Vol Agg,%total		86.00	86.44	86.28
Average VMA,%		14.00	13.56	13.72
Average Air Void,%		4.07	3.96	4.16
Average VFA,%		70.93	70.80	69.69
Average Stability,lb		2349	2333	2139
Average Flow,(1/100")		11.91	12.30	12.64

ตาราง ข.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.91	4.74	4.58
%AC by Mass of Mix (b.)		4.68	4.53	4.38
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.31	4.15	4.01
Spec. Hgt. D		101.23	101.76	101.39
H		62.24	63.36	63.84
Average Bulk volume		503.44	505.52	502.85
Average Density		2.412	2.417	2.423
Average Vol AC,%total		10.05	9.71	9.39
Average Vol Agg,%total		85.88	86.18	86.54
Average VMA,%		14.12	13.82	13.46
Average Air Void,%		4.07	4.11	4.07
Average VFA,%		71.19	70.25	69.75
Average Stability,lb		1872	2059	2075
Average Flow,(1/100")		9.45	9.06	8.76

ตาราง ข.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.91	4.74	4.71
%AC by Mass of Mix (b.)		4.68	4.53	4.50
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.31	4.15	4.13
Spec. Hgt. D		101.39	101.68	101.10
H		65.02	65.50	64.08
Average Bulk volume		514.89	514.38	512.83
Average Density		2.413	2.415	2.420
Average Vol AC,%total		10.05	9.70	9.65
Average Vol Agg,%total		85.91	86.15	86.32
Average VMA,%		14.09	13.85	13.68
Average Air Void,%		4.04	4.15	4.03
Average VFA,%		71.34	70.04	70.56
Average Stability,lb		2114	2195	2234
Average Flow,(1/100")		12.70	13.68	14.47

ตาราง ข.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.91	4.74	4.71
%AC by Mass of Mix (b.)		4.68	4.53	4.50
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.31	4.15	4.13
Spec. Hgt. D		101.54	101.63	101.76
H		64.13	65.00	63.22
Average Bulk volume		512.00	515.75	512.31
Average Density		2.413	2.415	2.420
Average Vol AC,%total		10.05	9.70	9.65
Average Vol Agg,%total		85.90	86.14	86.32
Average VMA,%		14.10	13.86	13.68
Average Air Void,%		4.04	4.15	4.03
Average VFA,%		71.32	70.02	70.56
Average Stability,lb		2419	2397	2361
Average Flow,(1/100")		13.39	12.50	12.60

ตาราง ข.7 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		5	4.92	4.85
%AC by Mass of Mix (b.)		4.76	4.69	4.63
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.39	4.32	4.25
Spec. Hgt. D		101.59	101.69	101.67
H		63.37	63.88	63.70
Average Bulk volume		512.82	512.48	512.44
Average Density		2.409	2.413	2.414
Average Vol AC,%total		10.23	10.08	9.93
Average Vol Agg,%total		85.73	85.91	86.01
Average VMA,%		14.27	14.09	13.99
Average Air Void,%		4.04	4.01	4.06
Average VFA,%		71.69	71.52	70.98
Average Stability,lb		2429	2222	2132
Average Flow,(1/100")		12.50	12.70	12.11

ตาราง ข.8 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูซึมยาง(X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.94	4.80	4.63
%AC by Mass of Mix (b.)		4.71	4.58	4.43
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.34	4.21	4.05
Spec. Hgt. D		101.41	101.49	101.68
H		62.89	63.26	63.68
Average Bulk volume		497.44	504.80	504.93
Average Density		2.414	2.413	2.422
Average Vol AC,%total		10.12	9.80	9.50
Average Vol Agg,%total		85.92	86.00	86.50
Average VMA,%		14.08	14.00	13.53
Average Air Void,%		3.96	4.16	4.03
Average VFA,%		71.88	70.25	70.18
Average Stability,lb		1901	2143	2434
Average Flow,(1/100")		9.94	9.06	8.76

ตาราง ข.9 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (G_{ac}) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		5.04	4.99	4.97
%AC by Mass of Mix (b.)		4.80	4.75	4.73
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.43	4.38	4.36
Spec. Hgt. D		101.68	101.63	101.58
H		64.86	63.50	64.07
Average Bulk volume		520.10	519.69	514.04
Average Density		2.408	2.407	2.411
Average Vol AC,%total		10.31	10.20	10.17
Average Vol Agg,%total		85.65	85.65	85.80
Average VMA,%		14.35	14.35	14.20
Average Air Void,%		4.04	4.15	4.03
Average VFA,%		71.84	71.09	71.62
Average Stability,lb		1981	1999	1966
Average Flow,(1/100")		12.30	11.52	11.71

ตาราง ข.10 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (G_{ag}) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (G_{ac}) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.77	4.75	4.65
%AC by Mass of Mix (b.)		4.55	4.53	4.44
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.18	4.16	4.07
Spec. Hgt. D		101.69	101.67	101.65
H		64.06	63.68	64.47
Average Bulk volume		511.05	510.65	511.26
Average Density		2.421	2.416	2.423
Average Vol AC,%total		9.79	9.73	9.54
Average Vol Agg,%total		86.30	86.16	86.50
Average VMA,%		13.70	13.84	13.50
Average Air Void,%		3.91	4.11	3.96
Average VFA,%		71.45	70.27	70.66
Average Stability,lb		2138	2230	2153
Average Flow,(1/100")		13.09	12.89	12.89

ตาราง ข.11 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิด โฟม

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.75	4.67	4.53
%AC by Mass of Mix (b.)		4.53	4.46	4.33
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.16	4.09	3.96
Spec. Hgt. D		101.62	101.73	101.65
H		64.61	64.01	63.27
Average Bulk volume		512.53	509.97	509.82
Average Density		2.418	2.421	2.425
Average Vol AC,%total		9.73	9.57	9.29
Average Vol Agg,%total		86.21	86.40	86.64
Average VMA,%		13.79	13.60	13.36
Average Air Void,%		4.05	4.02	4.07
Average VFA,%		70.59	70.42	69.53
Average Stability,lb		2096	2183	2108
Average Flow,(1/100")		10.93	11.02	10.73

ตาราง ข.12 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อกำหนดให้ช่องว่างอากาศเท่ากับ 4%

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิด โฟม

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

% การดูดซึมน้ำ (X) = 0.39

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมวลรวม (Gag) = 2.677 ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Gac) = 1.034

Mixed Temperature (°C)		130	150	170
%AC by Mass of Agg. (a.)		4.85	4.74	4.60
%AC by Mass of Mix (b.)		4.63	4.53	4.40
%Eff. AC by Mass of Mix (c.)		4.25	4.15	4.02
Spec. Hgt. D		101.55	101.62	101.60
H		63.84	64.27	63.65
Average Bulk volume		503.45	504.71	502.21
Average Density		2.414	2.416	2.424
Average Vol AC,%total		9.93	9.71	9.44
Average Vol Agg,%total		85.99	86.18	86.57
Average VMA,%		14.01	13.82	13.43
Average Air Void,%		4.08	4.12	4.00
Average VFA,%		70.90	70.22	70.23
Average Stability,lb		1906	2040	2470
Average Flow,(1/100")		10.14	8.96	8.76



ภาคผนวก ค.

ผลการทดสอบความไว้วางใจต่อความซื่อ

ตาราง ค.1 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.45	101.28	101.80	101.38	101.38	100.75
Diameter (in.)	D	3.99	3.99	4.01	3.99	3.99	3.97
Thickness (mm.)	t	65.23	65.30	65.45	65.40	65.23	66.9
Thickness (in.)	t	2.57	2.57	2.58	2.57	2.57	2.63
Dry mass in air	A	1230.49	1232.95	1221.47	1227.29	1228.56	1239.14
SSD Mass	B	1238.39	1239.41	1230.25	1236.87	1237.52	1247.29
Mass in water	C	716.48	716.64	712.04	716.40	716.63	721.59
Volume (B-C)	E	521.91	522.77	518.21	520.47	520.89	525.7
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.358	2.358	2.357	2.358	2.359	2.357
Max Sp.Gr.	Gmm	2.539	2.539	2.539	2.539	2.539	2.539
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.14	7.11	7.16	7.13	7.11	7.16
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.274	37.165	37.127	37.095	37.014	37.657
Load (lbs)	P				1327	1397	1367
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				82.24	86.81	83.34
Avg. Dry Tensile Strenght					84.13		
Thickness (mm.)	t"	65.23	65.30	65.43			
Thickness (in.)	t"	2.57	2.57	2.58			
SSD Mass	B"	1251.63	1254.41	1243.25			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.14	21.46	21.78			
%Saturated (100J"/I)		56.71	57.74	58.66			
Load (lbs)	P"	1072	1107	1089			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	66.57	68.78	67.18			
Avg. Wet Tensile Strenght		67.51					
TSR, 100Stm/Std (%)		80.94	79.23	80.61			
TSR, 100Stm/Std (%)		80.24					

ตาราง ค.2 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.82	101.58	101.6	101.22	101.56	101.42
Diameter (in.)	D	4.01	4.00	4.00	3.99	4.00	3.99
Thickness (mm.)	t	69.00	68.70	68.00	70.80	69.90	70.12
Thickness (in.)	t	2.72	2.70	2.68	2.79	2.75	2.76
Dry mass in air	A	1224.41	1214.60	1215.63	1219.21	1213.43	1215.61
SSD Mass	B	1233.62	1223.71	1224.00	1228.45	1222.51	1224.01
Mass in water	C	707.08	701.04	710.11	704.23	700.51	701.31
Volume (B-C)	E	526.54	522.67	522.89	524.22	522.00	522.70
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.325	2.324	2.325	2.326	2.325	2.326
Max Sp.Gr.	Gmm	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.13	7.19	7.16	7.12	7.17	7.12
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.558	37.606	37.415	37.315	37.403	37.233
Load (lbs)	P				1501	1478	1490
Dry Strength, 2P/πtD (psi)	Std				86.07	85.55	86.10
Avg. Dry Tensile Strength					85.91		
Thickness (mm.)	t"	69.00	68.70	68.00			
Thickness (in.)	t"	2.72	2.70	2.68			
SSD Mass	B"	1246.62	1236.71	1238.31			
Vol Abs. Water (B"-A)	J"	22.21	22.11	22.68			
%Saturated (100J"/I)		59.13	58.79	60.62			
Load (lbs)	P"	1107	1089	1101			
Wet Strength, P/πtD (psi)	Stm	64.75	64.13	65.49			
Avg. Wet Tensile Strength		64.79					
TSR, 100Stm/Std (%)		75.23	74.95	76.06			
TSR, 100Stm/Std (%)		75.42					

ตาราง ค.3 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.64	101.60	101.54	101.50	101.62	101.48
Diameter (in.)	D	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Thickness (mm.)	t	69.92	68.36	68.52	70.60	71.00	70.46
Thickness (in.)	t	2.75	2.69	2.70	2.78	2.80	2.77
Dry mass in air	A	1216.96	1223.93	1221.46	1226.01	1216.32	1225.52
SSD Mass	B	1225.13	1232.37	1231.57	1235.60	1225.43	1235.49
Mass in water	C	704.97	709.05	709.12	711.63	705.53	711.46
Volume (B-C)	E	520.16	523.32	522.45	523.97	519.90	524.03
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.340	2.339	2.338	2.340	2.340	2.339
Max Sp.Gr.	Gmm	2.519	2.519	2.519	2.519	2.519	2.519
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.12	7.15	7.19	7.11	7.12	7.16
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.048	37.441	37.551	37.265	37.042	37.519
Load (lbs)	P				775	793	787
Dry Strength, 2P/πtD (psi)	Std				44.44	45.17	45.23
Avg. Dry Tensile Strength					44.95		
Thickness (mm.)	t"	69.92	68.32	68.52			
Thickness (in.)	t"	2.75	2.69	2.70			
SSD Mass	B"	1238.13	1246.37	1243.57			
Vol Abs. Water (B"-A)	J"	21.17	22.44	22.11			
%Saturated (100J"/I)		57.14	59.93	58.88			
Load (lbs)	P"	545	535	523			
Wet Strength, P/πtD (psi)	Stm	31.51	31.65	30.89			
Avg. Wet Tensile Strength		31.35					
TSR, 100Stm/Std (%)		70.91	70.08	68.30			
TSR, 100Stm/Std (%)		69.76					

ตาราง ค.4ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิด โฟม

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.60	101.30	101.42	101.58	101.38	101.4
Diameter (in.)	D	4.00	3.99	3.99	4.00	3.99	3.99
Thickness (mm.)	t	70	68.70	67.80	69.00	71.50	71.00
Thickness (in.)	t	2.76	2.70	2.67	2.72	2.81	2.80
Dry mass in air	A	1226.18	1214.20	1213.42	1226.02	1212.76	1210.54
SSD Mass	B	1235.58	1223.82	1222.83	1235.44	1221.16	1219.62
Mass in water	C	705.25	698.47	697.91	705.15	696.50	695.81
Volume (B-C)	E	530.33	525.35	524.92	530.29	524.66	523.81
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.312	2.311	2.312	2.312	2.312	2.311
Max Sp.Gr.	Gmm	2.490	2.490	2.490	2.490	2.490	2.490
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.14	7.18	7.16	7.15	7.17	7.19
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.888	37.719	37.603	37.912	37.608	37.649
Load (lbs)	P				1060	1049	1043
Dry Strenght, 2P/ π tD (psi)	Std				62.15	59.47	59.53
Avg. Dry Tensile Strenght					60.38		
Thickness (mm.)	t"	70	68.70	67.80			
Thickness (in.)	t"	2.76	2.70	2.67			
SSD Mass	B"	1248.58	1235.82	1235.83			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	22.4	21.62	22.41			
%Saturated (100J"/I)		59.12	57.32	59.60			
Load (lbs)	P"	574	541	547			
Wet Strenght, P/ π tD (psi)	Stm	33.17	31.94	32.69			
Avg. Wet Tensile Strenght			32.60				
TSR, 100Stm/Std (%)		53.37	53.72	54.91			
TSR, 100Stm/Std (%)			53.99				

ตาราง ค.5ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิด โฟม

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 0:100

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	100.90	101.00	101.62	101.42	101.38	101.40
Diameter (in.)	D	3.97	3.98	4.00	3.99	3.99	3.99
Thickness (mm.)	t	69.00	68.00	67.88	68.70	69.00	67.00
Thickness (in.)	t	2.72	2.68	2.67	2.70	2.72	2.64
Dry mass in air	A	1217.69	1207.27	1210.23	1207.33	1220.8	1208.38
SSD Mass	B	1226.17	1216.59	1219.47	1216.37	1229.2	1217.92
Mass in water	C	702.17	696.74	698.61	696.71	703.80	698.02
Volume (B-C)	E	524.00	519.85	520.86	519.66	525.40	519.90
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.324	2.322	2.324	2.323	2.324	2.324
Max Sp.Gr.	Gmm	2.502	2.502	2.502	2.502	2.502	2.502
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.12	7.18	7.13	7.14	7.13	7.10
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.313	37.328	37.155	37.114	37.470	36.924
Load (lbs)	P				1338	1309	1321
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				78.91	76.90	79.90
Avg. Dry Tensile Strenght					78.57		
Thickness (mm.)	t"	69.00	68.00	67.88			
Thickness (in.)	t"	2.72	2.68	2.67			
SSD Mass	B"	1239.47	1228.59	1232.45			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.78	21.32	22.22			
%Saturated (100J"/I)		58.37	57.12	59.80			
Load (lbs)	P"	763	758	787			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	45.04	45.35	46.88			
Avg. Wet Tensile Strenght			45.76				
TSR, 100Stm/Std (%)		57.07	58.98	58.68			
TSR, 100Stm/Std (%)			58.24				

ตาราง ค.6ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.45	101.28	101.8	101.38	101.38	100.75
Diameter (in.)	D	3.99	3.99	4.01	3.99	3.99	3.97
Thickness (mm.)	t	65.23	65.3	65.43	65.4	65.23	66.9
Thickness (in.)	t	2.57	2.57	2.58	2.57	2.57	2.63
Dry mass in air	A	1230.49	1232.95	1221.47	1227.29	1228.56	1239.14
SSD Mass	B	1238.39	1239.41	1230.25	1236.87	1237.52	1247.29
Mass in water	C	716.48	716.64	712.04	716.4	716.63	721.59
Volume (B-C)	E	521.91	522.77	518.21	520.47	520.89	525.7
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.358	2.358	2.357	2.358	2.359	2.357
Max Sp.Gr.	Gmm	2.539	2.539	2.539	2.539	2.539	2.539
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.14	7.11	7.16	7.13	7.11	7.16
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.274	37.165	37.127	37.095	37.014	37.657
Load (lbs)	P				2194	2398	2300
Dry Strenght, 2P/πtD (psi)	Std				135.98	149.01	140.22
Avg. Dry Tensile Strenght					141.74		
Thickness (mm.)	t"	65.23	65.3	65.43			
Thickness (in.)	t"	2.57	2.57	2.58			
SSD Mass	B"	1251.63	1254.41	1243.25			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.14	21.46	21.78			
%Saturated (100J"/I)		56.71	57.74	58.66			
Load (lbs)	P"	1781	2106	2047			
Wet Strenght, P/πtD (psi)	Stm	110.59	130.85	126.29			
Avg. Wet Tensile Strenght		122.58					
TSR, 100Stm/Std (%)		81.33	87.82	90.06			
TSR, 100Stm/Std (%)		86.48					

ตาราง ค.7ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม:

150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.15	101.2	100.6	101.1	101.6	101.2
Diameter (in.)	D	3.98	3.98	3.96	3.98	4.00	3.98
Thickness (mm.)	t	65.6	65.4	66.2	66.6	64.6	65.7
Thickness (in.)	t	2.58	2.57	2.61	2.62	2.54	2.59
Dry mass in air	A	1234.52	1234.54	1238.87	1231.2	1232.42	1239.86
SSD Mass	B	1243.65	1242.62	1246.29	1240.72	1241.48	1248.16
Mass in water	C	716.56	715.66	717.45	715.24	715.28	718.68
Volume (B-C)	E	527.09	526.96	528.84	525.48	526.2	529.48
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.342	2.343	2.343	2.343	2.342	2.342
Max Sp.Gr.	Gmm	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.13	7.11	7.11	7.10	7.13	7.15
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.590	37.452	37.615	37.296	37.532	37.862
Load (lbs)	P				1514	1277	1336
Dry Strenght, 2P/πtD (psi)	Std				92.40	79.95	82.57
Avg. Dry Tensile Strenght					84.97		
Thickness (mm.)	t"	65.6	65.4	66.2			
Thickness (in.)	t"	2.58	2.57	2.61			
SSD Mass	B"	1256.59	1256.57	1261.18			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	22.07	22.03	22.31			
%Saturated (100J"/I)		58.71	58.82	59.31			
Load (lbs)	P"	1017	1135	1064			
Wet Strength, P/πtD (psi)	Stm	62.98	70.47	65.65			
Avg. Wet Tensile Strenght			66.37				
TSR, 100Stm/Std (%)		68.16	88.14	79.51			
TSR, 100Stm/Std (%)			78.10				

ตาราง ค.8ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.45	101.8	101.6	101.25	101.35	101.25
Diameter (in.)	D	3.99	4.01	4.00	3.99	3.99	3.99
Thickness (mm.)	t	64.8	66.75	66.6	65.4	66.3	65.6
Thickness (in.)	t	2.55	2.63	2.62	2.57	2.61	2.58
Dry mass in air	A	1223.09	1236.32	1233.4	1236.18	1236.36	1230.42
SSD Mass	B	1232.18	1245.98	1243.23	1245.06	1245.94	1240.52
Mass in water	C	712.54	720.64	719.03	719.9	720.46	717.68
Volume (B-C)	E	519.64	525.34	524.2	525.16	525.48	522.84
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.354	2.353	2.353	2.354	2.353	2.353
Max Sp.Gr.	Gmm	2.534	2.534	2.534	2.534	2.534	2.534
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.11	7.13	7.15	7.11	7.15	7.13
Volume Airvoid (HE/100)	I	36.968	37.447	37.460	37.323	37.572	37.276
Load (lbs)	P				1668	1692	1686
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				103.51	103.47	104.31
Avg. Dry Tensile Strenght					103.77		
Thickness (mm.)	t"	64.8	66.75	66.6			
Thickness (in.)	t"	2.55	2.63	2.62			
SSD Mass	B"	1244.83	1258.15	1255.86			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.74	21.83	22.46			
%Saturated (100J"/I)		58.81	58.30	59.96			
Load (lbs)	P"	1047	899	1094			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	65.45	54.37	66.44			
Avg. Wet Tensile Strenght			62.08				
TSR, 100Stm/Std (%)		63.23	52.54	63.69			
TSR, 100Stm/Std (%)			59.83				

ตาราง ค.9ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดโฟม

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101	101.2	101.85	101.4	101.38	101.56
Diameter (in.)	D	3.98	3.98	4.01	3.99	3.99	4.00
Thickness (mm.)	t	66.18	66.26	66.24	64.4	64.94	63.68
Thickness (in.)	t	2.61	2.61	2.61	2.54	2.56	2.51
Dry mass in air	A	1242.34	1236.82	1244.66	1224.84	1234.24	1229.46
SSD Mass	B	1250.81	1245.28	1253.46	1232.02	1243.04	1238.74
Mass in water	C	718.82	715.72	720.42	707.54	714.64	712.36
Volume (B-C)	E	531.99	529.56	533.04	524.48	528.4	526.38
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.335	2.336	2.335	2.335	2.336	2.336
Max Sp.Gr.	Gmm	2.516	2.516	2.516	2.516	2.516	2.516
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.18	7.17	7.19	7.18	7.16	7.17
Volume Airvoid (HE/100)	I	38.214	37.978	38.342	37.660	37.844	37.723
Load (lbs)	P				1419	1775	1449
Dry Strenght, 2P/πtD (psi)	Std				89.29	110.79	92.07
Avg. Dry Tensile Strenght					97.38		
Thickness (mm.)	t"	66.18	66.26	66.24			
Thickness (in.)	t"	2.61	2.61	2.61			
SSD Mass	B"	1265.24	1258.87	1266.37			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	22.9	22.05	21.71			
%Saturated (100J"/I)		59.93	58.06	56.62			
Load (lbs)	P"	842	905	952			
Wet Strength, P/πtD (psi)	Stm	51.76	55.46	57.99			
Avg. Wet Tensile Strenght		55.07					
TSR, 100Stm/Std (%)		57.97	50.06	62.98			
TSR, 100Stm/Std (%)		56.55					

ตาราง ค.10ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดโฟม

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 20:80

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.1	101.1	101.15	101	101.8	101.2
Diameter (in.)	D	3.98	3.98	3.98	3.98	4.01	3.98
Thickness (mm.)	t	66.35	67.1	65.3	66.35	67.15	66.85
Thickness (in.)	t	2.61	2.64	2.57	2.61	2.64	2.63
Dry mass in air	A	1240.46	1247.92	1239.2	1240.75	1241.76	1247.48
SSD Mass	B	1248.48	1256.8	1248.96	1248.64	1250.72	1256.74
Mass in water	C	717.46	722.74	718.66	717.48	719.34	722.78
Volume (B-C)	E	531.02	534.06	530.3	531.16	531.38	533.96
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.336	2.337	2.337	2.336	2.337	2.336
Max Sp.Gr.	Gmm	2.516	2.516	2.516	2.516	2.516	2.516
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.15	7.13	7.12	7.16	7.12	7.14
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.991	38.066	37.772	38.016	37.835	38.141
Load (lbs)	P				1307	1307	1301
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				80.15	78.57	79.02
Avg. Dry Tensile Strenght					79.25		
Thickness (mm.)	t"	66.35	67.1	65.3			
Thickness (in.)	t"	2.61	2.64	2.57			
SSD Mass	B"	1262.69	1269.74	1261.33			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	22.23	21.82	22.13			
%Saturated (100J"/I)		58.51	57.32	58.59			
Load (lbs)	P"	753	893	922			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	46.13	54.09	57.36			
Avg. Wet Tensile Strenght			52.53				
TSR, 100Stm/Std (%)		57.56	68.85	72.59			
TSR, 100Stm/Std (%)			66.28				

ตาราง ค.11ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: ไม่มีสารผสมเพิ่ม อุณหภูมิผสม:

170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	100.97	101.17	101.37	101.8	101.35	101.58
Diameter (in.)	D	3.98	3.98	3.99	4.01	3.99	4.00
Thickness (mm.)	t	64.97	64.33	65.8	65.75	64.8	64.2
Thickness (in.)	t	2.56	2.53	2.59	2.59	2.55	2.53
Dry mass in air	A	1220.38	1221.88	1233.2	1229.68	1212.94	1223.8
SSD Mass	B	1227.42	1229.82	1242.54	1238.36	1219.72	1233.12
Mass in water	C	703.32	705.16	713.45	710.66	699.14	707.82
Volume (B-C)	E	524.1	524.66	529.09	527.7	520.58	525.3
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.329	2.329	2.331	2.330	2.330	2.330
Max Sp.Gr.	Gmm	2.509	2.509	2.509	2.509	2.509	2.509
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.19	7.18	7.10	7.12	7.14	7.15
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.699	37.661	37.579	37.592	37.144	37.536
Load (lbs)	P				2006	1976	1923
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				123.16	123.64	121.17
Avg. Dry Tensile Strenght					122.66		
Thickness (mm.)	t"	64.97	64.33	65.8			
Thickness (in.)	t"	2.56	2.53	2.59			
SSD Mass	B"	1242.88	1244.22	1255.74			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	22.5	22.34	22.54			
%Saturated (100J"/I)		59.68	59.32	59.98			
Load (lbs)	P"	1603	1680	1674			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	100.41	106.07	103.13			
Avg. Wet Tensile Strenght		103.21					
TSR, 100Stm/Std (%)		81.53	85.79	85.11			
TSR, 100Stm/Std (%)		84.14					

ตาราง ค.12ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม:

150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.22	101.76	101.88	101.64	101.66	101.88
Diameter (in.)	D	3.99	4.01	4.01	4.00	4.00	4.01
Thickness (mm.)	t	65.78	65.28	65.4	67.16	66.88	65.7
Thickness (in.)	t	2.59	2.57	2.57	2.64	2.63	2.59
Dry mass in air	A	1228.36	1224.59	1230.24	1223.47	1232.95	1221.04
SSD Mass	B	1237.65	1233.76	1239.25	1233.88	1244.2	1231.09
Mass in water	C	712.22	709.75	712.74	710.16	716.45	708.62
Volume (B-C)	E	525.43	524.01	526.51	523.72	527.75	522.47
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.338	2.337	2.337	2.336	2.336	2.337
Max Sp.Gr.	Gmm	2.517	2.517	2.517	2.517	2.517	2.517
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.12	7.15	7.17	7.19	7.18	7.15
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.405	37.482	37.738	37.637	37.901	37.353
Load (lbs)	P				1811	1793	1745
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				109.02	108.37	107.13
Avg. Dry Tensile Strenght					108.17		
Thickness (mm.)	t"	65.78	65.28	65.4			
Thickness (in.)	t"	2.59	2.57	2.57			
SSD Mass	B"	1250.15	1246.11	1252.43			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.79	21.52	22.19			
%Saturated (100J"/I)		58.25	57.41	58.80			
Load (lbs)	P"	1419	1437	1485			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	87.58	88.89	91.59			
Avg. Wet Tensile Strenght			89.35				
TSR, 100Stm/Std (%)		80.33	82.03	85.49			
TSR, 100Stm/Std (%)			82.60				

ตาราง ค.13ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ อุณหภูมิผสม:

130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.48	101.8	101.86	101.4	101.74	101.58
Diameter (in.)	D	4.00	4.01	4.01	3.99	4.01	4.00
Thickness (mm.)	t	67.26	66.9	67.34	67.16	65.9	66.28
Thickness (in.)	t	2.65	2.63	2.65	2.64	2.59	2.61
Dry mass in air	A	1224.4	1225.21	1208.54	1227.08	1230.22	1232.22
SSD Mass	B	1233.16	1233.13	1217.39	1235.17	1239.12	1240.52
Mass in water	C	709.09	708.57	699.86	709.82	712.54	713.15
Volume (B-C)	E	524.07	524.56	517.53	525.35	526.58	527.37
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.336	2.336	2.335	2.336	2.336	2.337
Max Sp.Gr.	Gmm	2.516	2.516	2.516	2.516	2.516	2.516
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.14	7.17	7.19	7.16	7.14	7.13
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.425	37.593	37.188	37.639	37.621	37.616
Load (lbs)	P				1994	1929	1976
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				120.32	118.23	120.60
Avg. Dry Tensile Strenght					119.72		
Thickness (mm.)	t"	67.26	66.9	67.34			
Thickness (in.)	t"	2.65	2.63	2.65			
SSD Mass	B"	1246.22	1247.45	1230.52			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.82	22.24	21.98			
%Saturated (100J"/I)		58.30	59.16	59.10			
Load (lbs)	P"	1668	1704	1609			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	100.42	102.82	96.39			
Avg. Wet Tensile Strenght		99.88					
TSR, 100Stm/Std (%)		83.46	86.96	79.93			
TSR, 100Stm/Std (%)		83.43					

ตาราง ค.14ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดโฟม

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.2	101.65	101.38	101.25	101.48	101.43
Diameter (in.)	D	3.98	4.00	3.99	3.99	4.00	3.99
Thickness (mm.)	t	65.5	65.45	65.26	67.5	64.3	65.85
Thickness (in.)	t	2.58	2.58	2.57	2.66	2.53	2.59
Dry mass in air	A	1234.5	1234.14	1234.22	1231.24	1213.46	1237.24
SSD Mass	B	1243.16	1243.22	1242.7	1240.02	1221.24	1245.2
Mass in water	C	718.26	718.54	717.85	716.46	705.52	719.12
Volume (B-C)	E	524.9	524.68	524.85	523.56	515.72	526.08
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.352	2.352	2.352	2.352	2.353	2.352
Max Sp.Gr.	Gmm	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.15	7.14	7.16	7.16	7.11	7.15
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.533	37.455	37.594	37.480	36.660	37.632
Load (lbs)	P				1887	1591	1538
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				113.46	100.20	94.62
Avg. Dry Tensile Strenght					102.76		
Thickness (mm.)	t"	65.5	65.45	65.26			
Thickness (in.)	t"	2.58	2.58	2.57			
SSD Mass	B"	1256.07	1255.68	1255.96			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.57	21.54	21.74			
%Saturated (100J"/I)		57.47	57.51	57.83			
Load (lbs)	P"	1224	1159	1248			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	75.88	71.59	77.51			
Avg. Wet Tensile Strenght			74.99				
TSR, 100Stm/Std (%)		66.88	71.45	81.92			
TSR, 100Stm/Std (%)			72.98				

ตาราง ค.15ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม: สารผสมเพิ่มชนิดโฟม

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 35:65

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.3	101.74	101.62	101.58	101.6	101.75
Diameter (in.)	D	3.99	4.01	4.00	4.00	4.00	4.01
Thickness (mm.)	t	66.52	65.5	67.2	67.4	64.98	64.8
Thickness (in.)	t	2.62	2.58	2.65	2.65	2.56	2.55
Dry mass in air	A	1237.54	1234.64	1243.16	1236.04	1229.24	1226.56
SSD Mass	B	1246.28	1244.96	1252.06	1244.86	1238.2	1237.94
Mass in water	C	713.94	713.98	717.28	713.06	709.44	710.44
Volume (B-C)	E	532.34	530.98	534.78	531.8	528.76	527.5
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.325	2.325	2.325	2.324	2.325	2.325
Max Sp.Gr.	Gmm	2.503	2.503	2.503	2.503	2.503	2.503
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.12	7.10	7.13	7.14	7.12	7.10
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.917	37.716	38.112	37.977	37.653	37.464
Load (lbs)	P				1520	1668	1360
Dry Strenght, $2P/\pi tD$ (psi)	Std				91.23	103.82	84.76
Avg. Dry Tensile Strenght					93.27		
Thickness (mm.)	t"	66.52	65.5	67.2			
Thickness (in.)	t"	2.62	2.58	2.65			
SSD Mass	B"	1259.51	1256.59	1265.64			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.97	21.95	22.48			
%Saturated (100J"/I)		57.94	58.20	58.98			
Load (lbs)	P"	1041	964	967			
Wet Strength, $P/\pi tD$ (psi)	Stm	63.48	59.44	58.19			
Avg. Wet Tensile Strenght		60.37					
TSR, 100Stm/Std (%)		69.58	57.26	68.65			
TSR, 100Stm/Std (%)		64.73					

ตาราง ค.16 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : ไม่มีสารผสมเพิ่ม

อุณหภูมิผสม: 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.64	101.48	101.72	100.60	101.00	101.00
Diameter (in.)	D	4.00	4.00	4.00	3.96	3.98	3.98
Thickness (mm.)	t	65.50	65.70	65.32	66.40	65.28	63.20
Thickness (in.)	t	2.58	2.59	2.57	2.61	2.57	2.49
Dry mass in air	A	1200.12	1213.58	1222.34	1228.82	1232.95	1221.47
SSD Mass	B	1209.44	1222.37	1231.65	1242.30	1244.4	1233.25
Mass in water	C	691.44	698.12	704.02	711.58	711.84	705.84
Volume (B-C)	E	518.00	524.25	527.63	530.72	532.57	527.41
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.317	2.315	2.317	2.315	2.315	2.316
Max Sp.Gr.	Gmm	2.494	2.494	2.494	2.494	2.494	2.494
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.10	7.18	7.11	7.16	7.17	7.14
Volume Airvoid (HE/100)	I	36.797	37.650	37.518	38.009	38.204	37.647
Load (lbs)	P				2453	2516	2413
Dry Strenght, 2P/ π tD (psi)	Std				150.90	156.81	155.34
Avg. Dry Tensile Strenght					154.35		
Thickness (mm.)	t"	65.50	65.70	65.32			
Thickness (in.)	t"	2.58	2.59	2.57			
SSD Mass	B"	1221.54	1235.37	1244.55			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.42	21.79	22.21			
%Saturated (100J"/I)		58.21	57.87	59.20			
Load (lbs)	P"	2052	2058	2035			
Wet Strenght, P/ π tD (psi)	Stm	126.66	126.84	125.86			
Avg. Wet Tensile Strenght		126.45					
TSR, 100Stm/Std (%)		83.93	80.89	81.02			
TSR, 100Stm/Std (%)		81.93					

ตาราง ค.17 ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.46	101.68	101.52	101.32	100.80	101.30
Diameter (in.)	D	3.99	4.00	4.00	3.99	3.97	3.99
Thickness (mm.)	t	64.72	65.00	64.88	65.30	65.30	65.30
Thickness (in.)	t	2.55	2.56	2.55	2.57	2.57	2.57
2.57Dry mass in air	A	1216.37	1195.89	1217.44	1225.38	1223.52	1227.78
SSD Mass	B	1226.09	1204.63	1227.22	1237.51	1235.76	1239.19
Mass in water	C	704.22	691.44	705.00	711.91	710.97	712.35
Volume (B-C)	E	521.87	513.19	522.22	525.60	524.79	526.84
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.331	2.330	2.331	2.331	2.331	2.330
Max Sp.Gr.	Gmm	2.510	2.510	2.510	2.510	2.510	2.510
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.14	7.16	7.12	7.12	7.11	7.15
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.260	36.740	37.184	37.401	37.332	37.685
Load (lbs)	P				1942	2066	2023
Dry Strenght, 2P/ π tD (psi)	Std				120.62	128.98	125.67
Avg. Dry Tensile Strenght					125.09		
Thickness (mm.)	t"	64.72	65.00	64.88			
Thickness (in.)	t"	2.55	2.56	2.55			
SSD Mass	B"	1237.39	1216.72	1238.54			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.02	20.83	21.10			
%Saturated (100J"/I)		56.41	56.70	56.74			
Load (lbs)	P"	1710	1716	1705			
Wet Strenght, P/ π tD (psi)	Stm	107.01	106.69	106.37			
Avg. Wet Tensile Strenght		106.69					
TSR, 100Stm/Std (%)		88.72	82.72	84.64			
TSR, 100Stm/Std (%)		85.29					

ตาราง ค.18 ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.52	101.18	101.42	101.10	101.30	101.40
Diameter (in.)	D	4.00	3.98	3.99	3.98	3.99	3.99
Thickness (mm.)	t	65.20	63.64	63.52	63.35	65.28	64.90
Thickness (in.)	t	2.57	2.51	2.50	2.49	2.57	2.56
Dry mass in air	A	1206.60	1214.29	1215.48	1223.92	1229.26	1224.67
SSD Mass	B	1215.00	1223.25	1224.51	1236.48	1242.14	1236.67
Mass in water	C	692.33	697.35	698.03	706.63	710.03	706.57
Volume (B-C)	E	522.67	525.90	526.48	529.85	532.11	530.11
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.309	2.309	2.309	2.310	2.310	2.310
Max Sp.Gr.	Gmm	2.487	2.487	2.487	2.487	2.487	2.487
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.18	7.16	7.17	7.12	7.11	7.12
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.507	37.645	37.747	37.723	37.836	37.768
Load (lbs)	P				2000	2064	2081
Dry Strenght, 2P/ π tD (psi)	Std				128.32	128.26	129.94
Avg. Dry Tensile Strenght					128.84		
Thickness (mm.)	t"	65.20	63.64	63.52			
Thickness (in.)	t"	2.57	2.51	2.50			
SSD Mass	B"	1228.23	1236.55	1235.71			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.63	22.26	20.23			
%Saturated (100J"/I)		57.67	59.13	53.59			
Load (lbs)	P"	1687	1716	1710			
Wet Strenght, P/ π tD (psi)	Stm	104.73	109.51	109.08			
Avg. Wet Tensile Strenght		107.77					
TSR, 100Stm/Std (%)		81.62	85.38	83.94			
TSR, 100Stm/Std (%)		83.65					

ตาราง ค.19 ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโพลีเมอร์

อุณหภูมิผสม: 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.60	100.60	100.54	101.30	100.62	101.60
Diameter (in.)	D	4.00	3.96	3.96	3.99	3.96	4.00
Thickness (mm.)	t	66.78	66.80	66.78	64.65	64.40	65.50
Thickness (in.)	t	2.63	2.63	2.63	2.55	2.54	2.58
Dry mass in air	A	1221.82	1219.41	1220.21	1228.78	1223.66	1232.56
SSD Mass	B	1237.13	1233.80	1234.54	1240.65	1235.08	1244.34
Mass in water	C	708.44	706.65	706.92	708.91	705.84	711.42
Volume (B-C)	E	528.69	527.15	527.62	531.74	529.24	711.42
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.311	2.313	2.313	2.311	2.312	2.313
Max Sp.Gr.	Gmm	2.490	2.490	2.490	2.490	2.490	2.490
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.19	7.10	7.12	7.19	7.14	7.11
Volume Airvoid (HE/100)	I	37.999	37.427	37.576	38.254	37.810	37.916
Load (lbs)	P				2035	2041	2-52
Dry Strenght, 2P/πtD (psi)	Std				127.69	129.43	126.71
Avg. Dry Tensile Strenght					127.94		
Thickness (mm.)	t"	66.78	66.80	66.78			
Thickness (in.)	t"	2.63	2.63	2.63			
SSD Mass	B"	1244.13	1240.80	1241.54			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	22.31	21.39	21.33			
%Saturated (100J"/I)		58.71	57.15	56.77			
Load (lbs)	P"	1687	1652	1623			
Wet Strenght, P/πtD (psi)	Stm	102.17	101.02	99.33			
Avg. Wet Tensile Strenght		100.84					
TSR, 100Stm/Std (%)		80.02	78.05	78.40			
TSR, 100Stm/Std (%)		78.82					

ตาราง ค.20 ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น

สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มชนิดโฟม

อุณหภูมิผสม: 130 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนวัสดุ : 50:50

Sample		1	2	3	4	5	6
Diameter (mm.)	D	101.16	101.48	101.32	101.20	100.40	101.68
Diameter (in.)	D	3.98	4.00	3.99	3.98	3.95	4.00
Thickness (mm.)	t	64.28	65.00	65.00	64.30	64.95	64.63
Thickness (in.)	t	2.53	2.56	2.56	2.53	2.56	2.54
Dry mass in air	A	1196.29	1208.80	1209.92	1214.58	1222.93	1222.65
SSD Mass	B	1208.80	1219.51	1220.42	1226.36	1234.77	1234.54
Mass in water	C	694.16	699.32	699.83	703.70	708.63	708.33
Volume (B-C)	E	514.24	520.19	520.59	522.66	526.14	526.21
Bulk Sp.Gr. (A/E)	Gmb	2.326	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324
Max Sp.Gr.	Gmm	2.503	2.503	2.503	2.503	2.503	2.503
%Air Void (100(G-F)/G)	H	7.13	7.16	7.15	7.16	7.14	7.17
Volume Airvoid (HE/100)	I	36.698	37.250	37.202	37.410	37.554	37.736
Load (lbs)	P				1524	1495	1583
Dry Strenght, 2P/ π tD (psi)	Std				96.24	94.21	98.99
Avg. Dry Tensile Strenght					96.48		
Thickness (mm.)	t"	64.28	65.00	65.00			
Thickness (in.)	t"	2.53	2.56	2.56			
SSD Mass	B"	1217.40	1230.11	1231.42			
Vol Abs.Water (B"-A)	J"	21.11	21.31	21.50			
%Saturated (100J"/I)		58.16	57.21	57.79			
Load (lbs)	P"	1043	1055	1118			
Wet Strenght, P/ π tD (psi)	Stm	65.91	65.72	69.76			
Avg. Wet Tensile Strenght		67.13					
TSR, 100Stm/Std (%)		68.49	69.76	70.47			
TSR, 100Stm/Std (%)		69.58					

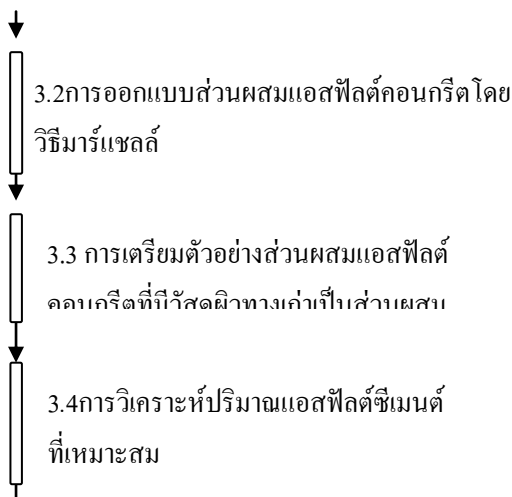
ประวัติผู้เขียน

นางสาวพิชญภรณ์ มาเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2534 ณ จังหวัดลพบุรี เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนสัตยาไส จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมจากโรงเรียนตากลิประชาสรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาระดับชั้นปริญญาตรีจากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ปี พ .ศ. 2556 ในระหว่างที่ทำการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มีความสนใจเกี่ยวกับแอสฟัลต์และเรื่องที่เกี่ยวข้อง จึงทำให้เกิดแรงจูงใจในการศึกษาต่อระดับปริญญาโท เพื่อเป็นการพัฒนาความรู้และความสามารถให้กับตนเอง หลังจากจบการศึกษาระดับปริญญาตรีจึงเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งในทันที

บทที่ 3

การดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างวัสดุผิวทางเก่า (RAP) และวัสดุมวลรวมใหม่ สำหรับชั้นทาง Binder Course ขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว หรือ 19 มิลลิเมตร หรือตามมาตรฐานชั้นทางที่ ทล.-ม.408/2532 เพื่อศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในการใช้วิธีการผสมอุ่น เปรียบเทียบกับวิธีการผสมร้อนที่อุณหภูมิผสมต่างๆ สามารถสรุปขั้นตอนการ ดำเนินการศึกษาดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา



3.1 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

3.1.1 คุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์

ในการศึกษานี้ได้ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด 60/70 โดยได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐาน ตามมาตรฐานดังต่อไปนี้

- Penetration 25°C ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D5
- Flash Point ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D92
- Softening Point ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D36
- Ductility ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D113
- Solubility in Trichloroethylene ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D2042
- Specific Gravity ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D70

โดยผลการทดสอบแสดง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด 60/70

คุณสมบัติ	มาตรฐาน ที่ใช้อ้างอิง	ขอบเขตการทดสอบ		ผลการ ทดสอบ
		ต่ำสุด	สูงสุด	
Penetration @25 °C, 100 กรัม, 5 วินาที	ASTM D5	60	70	67
Flash Point (°C)	ASTM D92	232	-	334
Softening Point (C)	ASTM D36	45	55	47.2
Ductility @25°C (cm)	ASTM D113	100	-	>150
Solubility in Trichloroethylene (%wt)	ASTM D2042	99	-	99.97
Specific Gravity @25°C	ASTM D70	-	-	1.034

3.1.2 การศึกษาคุณสมบัติของสารผสมเพิ่ม

ในการศึกษานี้ได้ใช้เทคโนโลยีผสมปูน โดยการเติมสารผสมเพิ่ม ซึ่งได้แก่ สารผสมเพิ่มที่เป็นอินทรีย์ และสารผสมเพิ่มที่เป็นลักษณะ โฟม ซึ่งได้แก่

- สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ Sasobit® ได้จากการสังเคราะห์ Fischer-Tropsch จากถ่านหินหรือแก๊สธรรมชาติเมื่อดกลม สีขาวขุ่น มีขนาดประมาณ 5 มิลลิเมตร คุณสมบัติเด่นคือช่วยลดแรงเสียดทานของแอสฟัลต์ซีเมนต์เมื่ออุณหภูมิลดลง

- สารผสมเพิ่มชนิดโฟม มีลักษณะเป็นผงสีขาว ละเอียดคล้ายแป้ง มีน้ำหนักเบา ได้มาจากการบวนการสังเคราะห์ซีโอไลต์ (โซเดียมออลูมิเนียมซิลิเกต) มีน้ำเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างโมเลกุล คุณสมบัติช่วยในการเพิ่มปริมาตรเมื่ออุณหภูมิลดลงเช่นเดียวกัน

แต่สารผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิดนี้ให้คุณสมบัติเดียวกันคือ ช่วยในการบดอัดหรือทำงาน ได้ดีขึ้นที่อุณหภูมิผสมอุ่น แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สารผสมเพิ่มที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.3 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมใหม่ (Virgin Aggregate)

วัสดุมวลรวมใหม่ที่นำมาศึกษาเป็นชนิดหินปูน (Limestone) จากโรงโม่หินศิลาสากลพัฒนาอ.ปากช่อง จ. นครราชสีมา ในการศึกษานี้ได้ใช้มวลรวม ยุงหินร้อน (Hot Bin) 4 ขนาด ได้แก่ Hot Bin1 (หินฝุ่น), Hot Bin2 (3/8 นิ้ว), Hot Bin3 (1/2 นิ้ว) และ Hot Bin4 (3/4 นิ้ว) แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วัสดุมวลรวมใหม่ประเภทหินปูนที่ใช้ในการศึกษา

คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมใหม่

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมใหม่ ดังนี้

- ความถ่วงจำเพาะ (*Specific Gravity*) และการดูดซึมน้ำ (*Absorption*) ของมวลรวมหยาบ ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.207/2517 วิธีการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ

- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) และการดูดซึมน้ำ (Absorption) ของมวลรวมละเอียด ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.209/2518 วิธีการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด
- ความสึกหรอ (Abrasion) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.202/2515 วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion
- ค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.210/2518 วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index)
- ค่าดัชนีความยาว (Elongation Index) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.211/2518 วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index)
- ความคงทนต่อการกัดกร่อน (Soundness) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล. -ท.213/2531 วิธีการทดลองหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม โดยการใช้โซเดียมซัลเฟตหรือแมกนีเซียมซัลเฟต
- ค่าเทียบเท่าทราย (Sand Equivalent) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล. -ท.203/2515 วิธีการทดลองหาค่าเทียบเท่าทราย
- ขนาดผลของมวลรวม (Gradation) ตามมาตรฐาน วิธีการทดสอบที่ ทล.ม.205/2517 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล่าง

โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.2, 3.3 และรูปที่ 3.4

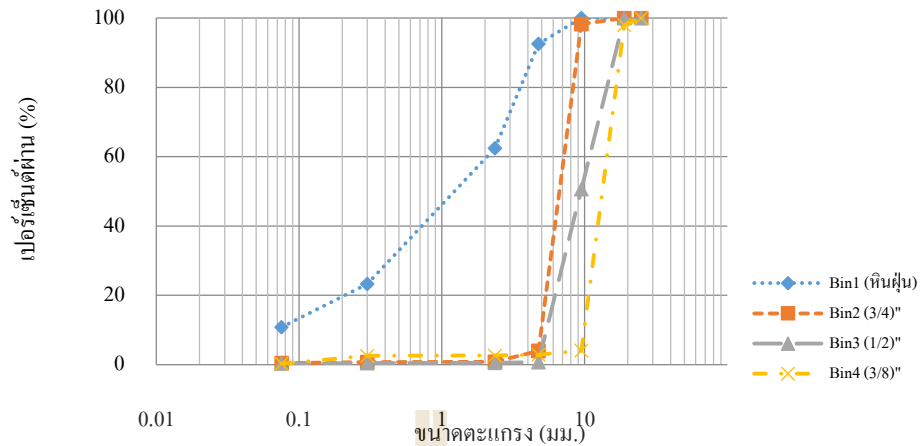
ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมใหม่

คุณสมบัติ	มวลรวมละเอียด	มวลรวมหยาบ		
		Bin 2 Bin 1 (หินฝุ่น)	Bin 3 (1/2")	Bin 4 (3/4")
Bulk Specific Gravity	2.672	2.670	2.685	2.684
Apparent Specific Gravity	2.696	2.699	2.715	2.713
การดูดซึมน้ำ, absorption (%)	0.33	0.40	0.41	0.40
ความสึกหรอ, abrasion (%)	-	34.68	34.64	31.8

ค่าดัชนีความแบน, Flakiness Index (%)	-	27.96	26.49	21.26
ค่าดัชนีความยาว, Elongation Index (%)	-	22.98	23.68	23.12
ความทนต่อการกัดกร่อน, Soundness	-	0.36	0.40	
ค่าเทียบเท่าทราย, Sand Equivalent (%)	66.67	-	-	-

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบหาขนาดคละ(Gradation) ของวัสดุมวลรวมใหม่

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	%ผ่านสะสม			
	(Bin1) หินฝุ่น	(Bin2) 3/8"	(Bin3) 1/2"	(Bin4) 3/4"
1" (25)	100	100	100	100
3/4" (19)	100	100	100	98.41
3/8" (9.5)	100	98.56	57.21	9.28
No.4 (4.75)	92.46	4.99	0.72	8.37
No.8(2.36)	62.32	0.91	0.47	6.9
No.50(0.3)	23.27	0.76	0.19	5.24
No.200(0.075)	10.80	0.58	0.10	1.45



รูปที่ 3.4 ขนาดคละ(Gradation) ของวัสดุรวมใหม่

3.1.4 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผิวทางเก่า

วัสดุผิวทางเก่า(RAP)ที่นำมาศึกษาได้มาจากผิวทางลาดยางของถนนสาย ทล .291ตอนทางเลี้ยวเมืองมหาสารคาม ช่วง กม.1+140ถึงกม.2+209คันทางด้านขวา จ.มหาสารคามโดยทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผิวทางเก่าดังนี้



รูปที่3.5วัสดุผิวทางเก่าที่ใช้ในการศึกษา

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์(Asphalt Content, %AC)ที่มีอยู่ในผิวทางเก่าโดยใช้วิธีการเผาในเตาอบ (Ignition Method)ตามมาตรฐานASTM D 6307Asphalt Content by Ignition Furnaceดังแสดงในตารางที่ 3.4 ตารางที่3.4ผลการทดสอบหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (%AC) ใน RAP จากการสุ่มตัวอย่าง

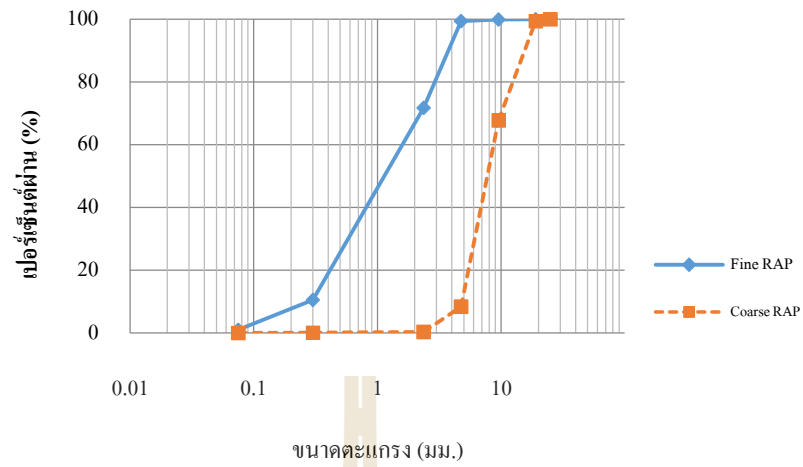
การทดสอบครั้งที่	%AC
1	3.38

2	3.37
3	3.37
ค่าเฉลี่ย	3.38
S.D.	0.5

ขนาดกะของวัสดุผิวทางเก่า(RAP)ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.ม.205/2517 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้างโดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.5, ตารางที่ 3.6,รูปที่3.6และรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.5การกระจายขนาดอนุภาคของวัสดุผิวทางเก่า(RAP)แบบไม่ล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	%ผ่านสะสม	
	Fine RAP	Coarse RAP
1" (25)	100	100
3/4" (19)	100	99.39
3/8" (9.5)	99.84	67.69
No.4 (4.75)	99.33	8.38
No.8(2.36)	71.67	0.31
No.50(0.3)	10.54	0.15
No.200(0.075)	1.07	0.05



รูปที่ 3.6 ขนาดคละของวัสดุผิวทางเก่า แบบไม่ล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์

ตารางที่ 3.6 การกระจายขนาดอนุภาคของวัสดุผิวทางเก่า(RAP)แบบล้างแอสฟัลต์ซีเมนต์

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	%ผ่านสะสม	
	Fine RAP	Coarse RAP
1" (25)	100	100
3/4" (19)	100	100
3/8" (9.5)	100	87.01
No.4 (4.75)	99.61	51.36
No.8 (2.36)	84.13	34.57
No.50 (0.3)	19.89	12.81
No.200 (0.075)	4.22	4.26

	หินฝุ่น	3/8"	1/2"	3/4"	RAP	RAP		Binder Course 3/4 นิ้ว (19 มม.)
	(44%)	(20%)	(0%)	(36%)	(0%)	(0%)	(100%)	
1" (25)	44	20		36			100	100
3/4" (19)	44	20		35.42			99.42	90-100
3/8" (9.5)	44	19.71		1.31			65.02	56-80
No.4 (4.75)	40.68	1		0.87			42.55	35-65
No.8 (2.36)	27.42	0.18		0.84			28.44	23-49
No.50 (0.3)	10.24	0.15		0.62			11.01	5-19
No.200 (0.075)	4.47	0.12		0.07			4.94	2-8

2 อัตราส่วนผสมผิวทางเก่า (RAP)ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 35:65 โดยส่วนผสมจะประกอบไปด้วยหินฝุ่น (Bin1)35%, มวลรวมขนาด 3/8" (Bin2)16%, มวลรวมขนาด3/4" (Bin4)29% วัสดุผิวทางเก่าละเอียด6%และวัสดุผิวทางเก่าหยาบ14%แสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่ 20:80

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรง						Combination Aggregate	มาตรฐาน ชั้นทาง Binder Course 3/4 นิ้ว (19 มม.)
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Fine	Coarse		
	หินฝุ่น	3/8"	1/2"	3/4"	RAP	RAP		
	(35%)	(16%)	(0%)	(29%)	(6%)	(14%)	(100%)	
1" (25)	35.2	16		29	6	14	100	100
3/4" (19)	35.2	16		28	6	14	99.54	90-100

3/8" (9.5)	35.2	15.77		1.05	6	12.18	70.20	56-80
No.4 (4.75)	32.55	0.8		0.69	5.98	7.19	47.20	35-65
No.8 (2.36)	21.94	0.15		0.67	5.05	4.84	32.64	23-49
No.50 (0.3)	8.19	0.12		0.49	1.19	1.79	11.79	5-19
No.200 (0.075)	3.8	0.09		0.06	0.25	0.60	4.8	2.8

อัตราส่วนผสมผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุรวมใหม่ 35:65 โดยส่วนผสมจะประกอบไปด้วยหินฝุ่น (Bin1)29%, มวลรวมขนาด 3/8" (Bin2)13%, มวลรวมขนาด 3/4" (Bin4)23% วัสดุผิวทางเก่าละเอียด 10.5% และวัสดุผิวทางเก่าหยาบ 24.5% แสดงดังตารางที่ 3.9

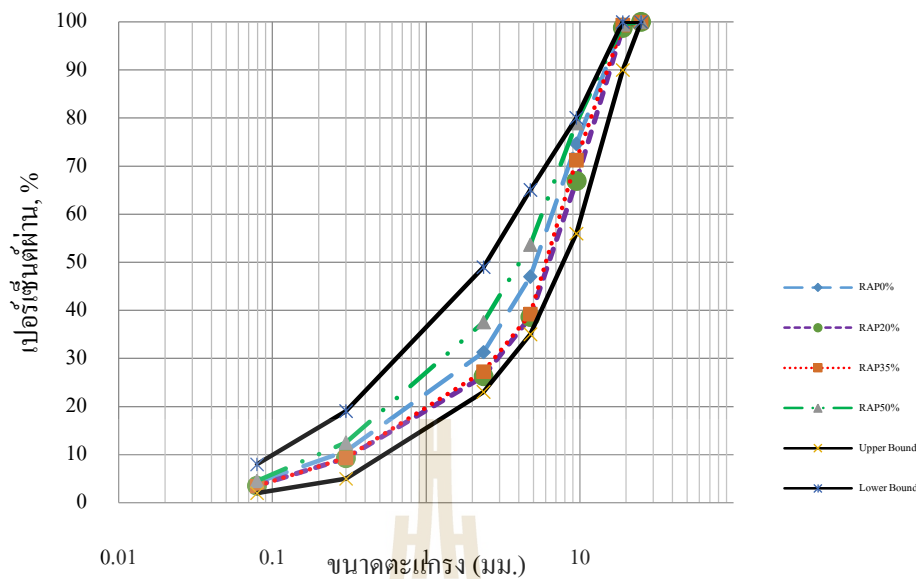
ตารางที่ 3.9 การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุรวมใหม่ 35:65

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรง						Combination Aggregate	มาตรฐาน ชั้นทาง Binder Course 3/4 นิ้ว (19 มม.)
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Fine	Coarse		
	หินฝุ่น	3/8"	1/2"	3/4"	RAP	RAP		
	(29%)	(13%)	(0%)	(23%)	(10.5%)	(24.5%)	(100%)	
1" (25)	28.6	13		23.4	10.5	24.5	100	100
3/4" (19)	28.6	13		23.02	10.5	24.5	99.62	90-100
3/8" (9.5)	28.6	12.81		0.85	10.5	21.32	74.08	56-80
No.4 (4.75)	26.44	0.65		0.56	10.46	12.58	50.70	35-65
No.8 (2.36)	17.82	0.12		0.54	8.83	8.47	35.79	23-49
No.50 (0.3)	6.65	0.10		0.40	2.09	3.14	12.38	5-19
No.200 (0.075)	3.09	0.08		0.04	0.44	1.04	4.7	2.8

3. อัตราส่วนผสมผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 50:50 โดยส่วนผสมจะประกอบไปด้วยหินฝุ่น (Bin1) 22%, มวลรวมขนาด 3/8" (Bin2) 10%, มวลรวมขนาด 3/4" (Bin4) 18%, วัสดุผิวทางเก่าละเอียด 15% และ วัสดุผิวทางเก่าหยาบ 35% แสดงดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อวัสดุมวลรวมใหม่ 50:50

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรง						Combination Aggregate	มาตรฐาน ชั้นทาง Binder Course 3/4 นิ้ว (19 มม.)
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Fine	Coarse		
	หินฝุ่น	3/8"	1/2"	3/4"	RAP	RAP	(100%)	
	(22%)	(10%)	(0%)	(18%)	(15%)	(35%)	(100%)	
1" (25)	22	10		18	15	35	100	100
3/4" (19)	22	10		17.71	15	35	99.71	90-100
3/8" (9.5)	22	9.86		0.66	15	30.35	77.97	56-80
No.4 (4.75)	20.34	0.50		0.43	14.94	17.98	54.19	35-65
No.8 (2.36)	13.71	0.09		0.42	12.62	12.10	38.94	23-49
No.50 (0.3)	5.12	0.08		0.31	2.98	4.48	12.97	5-19
No.200 (0.075)	2.38	0.06		0.03	0.63	1.49	4.59	2-8



รูปที่ 3.8 อัตราส่วนผสมชั้นทางBinder Courseขนาด ¼ นิ้ว

3.2.2 การประมาณความต้องการแอสฟัลต์ซีเมนต์ในส่วนผสม(P_b)

โดยในแต่ละอัตราส่วนวัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่ จะใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ในการผสมที่แตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ตามอัตราส่วนต่าง ๆ ที่มีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์อยู่ในวัสดุ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีอยู่เดิม และกำหนดหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการในส่วนผสม ดังสมการที่ 3.1 (FHWA, 2012)

$$P_b = 0.035a + 0.045b + Kc + F \quad (3.1)$$

- โดยที่
- P_b = ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการในส่วนผสม (% โดยน้ำหนักของก้อนตัวอย่าง)
 - a = % วัสดุมวลรวมที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมที่ค้างตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (No. 8)
 - b = % วัสดุมวลรวมที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมที่ผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (No. 8) และค้างตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (No. 200)
 - c = % วัสดุมวลรวมที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร
 - K = 0.15 เมื่อมวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร เป็นสัดส่วน 10-15%
 - = 0.18 เมื่อมวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร เป็นสัดส่วน 6-10%
 - = 0.20 เมื่อมวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร \leq 5%
 - F = factor of aggregate มีค่าระหว่าง 0-2% ขึ้นอยู่กับชนิดการดูซึมของมวลรวม (ในกรณีไม่มีข้อมูลแนะนำให้ใช้ 0.7%)

จากนั้น ทำการคำนวณหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีอยู่เดิม ในแต่ละอัตราส่วนผสมต่างๆ จากการคำนวณพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการสำหรับอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม (RAP): มวลรวมใหม่ 0:100 (P_b) เท่ากับ 5.27% โดยน้ำหนักของส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (P_b) สำหรับอัตราส่วน RAP ต่อมวลรวมใหม่ 0:100

a	b	K	c	F	P_b (%)
71.56	23.5	0.2	4.94	0.7	5.27

จากการคำนวณพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการสำหรับอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม (RAP): มวลรวมใหม่ 20:80 (P_b) เท่ากับ 5.20% โดยน้ำหนักของส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (P_b) สำหรับอัตราส่วน RAP ต่อมวลรวมใหม่ 20:80

a	b	K	c	F	P_b (%)
67.36	427.8	0.2	4.8	0.7	5.20

จากการคำนวณพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการสำหรับอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม (RAP): มวลรวมใหม่ 35:65 (P_b) เท่ากับ 5.17% โดยน้ำหนักของส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (P_b) สำหรับอัตราส่วน RAP ต่อมวลรวมใหม่ 35:65

a	b	K	c	F	P_b (%)
64.21	31.09	0.2	4.7	0.7	5.17

จากการคำนวณพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการสำหรับอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม (RAP): มวลรวมใหม่ 40:60 (P_b) เท่ากับ 5.12% โดยน้ำหนักของส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (P_b) สำหรับอัตราส่วน RAP ต่อมวลรวมใหม่ 50:50

a	b	K	c	F	P_b (%)
61.06	34.35	0.2	4.59	0.7	5.12

3.2.2 การคำนวณหาปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการออกแบบก้อนตัวอย่าง

เมื่อทราบปริมาณแอสฟัลต์ที่ต้องการในส่วนผสม (P_b) จึงทำการคำนวณปริมาณส่วนผสมต่าง ๆ ดังสมการที่ 3.2 ถึง 3.4 (The Asphalt Institute Manual, 1986)

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - rP_{sb})P_b}{100(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}} \quad (3.2)$$

$$P_{sm} = \frac{100(100 - r)}{(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_b}{100 - P_{sb}} \quad (3.3)$$

$$P_{ns} = r - \frac{rP_b}{100} \quad (3.4)$$

โดยที่ P_{nb} = ปริมาณแอสฟัลต์ใหม่ที่ต้องการเพิ่มลงในส่วนผสม

P_{sm} = ปริมาณวัสดุผิวทางเก่า (RAP) ที่ใช้ในส่วนผสม

P_{ns} = ปริมาณมวลรวมใหม่ที่ต้องการในส่วนผสม

r = ปริมาณของมวลรวมใหม่ตามอัตราส่วนที่กำหนด

P_{sb} = ปริมาณแอสฟัลต์ที่มีอยู่ในวัสดุผิวทางเก่า ($P_{sb}=3.38$)

P_b = ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ

ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการตามที่ได้จากการคำนวณตามสมการข้างต้น จะมีปริมาณที่แตกต่างกันออกไปตามอัตราส่วนของวัสดุผิวทางเดิม วัสดุมวลรวมใหม่ และ ปริมาณ แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ เมื่อออกแบบให้อัตราส่วนผสมทั้งหมดของก้อนตัวอย่างเป็น 100% สามารถสรุปออกมาได้ ดังตารางที่ 3.15 ถึง ตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.15 ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับ อัตราส่วนผสม วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่ เท่ากับ 0:100

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ(%), P_b	4.5	5.0	5.5
ปริมาณแอสฟัลต์(%), P_{nb}	4.5	5.0	5.5
RAP(%), P_{sm}	0	0	0
มวลรวมใหม่ (%) , P_{ns}	95.5	95.0	94.5
รวม (%)	100.0	100.0	100.0

ตารางที่ 3.16 ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับ อัตราส่วนผสม วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่ เท่ากับ 20:80

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ(%), P_b	4.5	5.0	5.5
ปริมาณแอสฟัลต์ (%), P_{nb}	3.6	4.0	4.4
RAP (%), P_{sm}	20.1	20.0	19.9
มวลรวมใหม่ (%), P_{ns}	76.4	76.0	75.6
รวม (%)	100.0	100.0	100.0

ตารางที่3.17ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับ อัตราส่วนผสม วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่ เท่ากับ35:65

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ(%), P_b	4.5	5.0	5.5
ปริมาณแอสฟัลต์ (%), P_{nb}	3.15	3.5	3.85
RAP(%), P_{sm}	30.0	29.9	29.8
มวลรวมใหม่ (%), P_{ns}	66.85	66.5	66.15
รวม (%)	100.0	100.0	100.0

ตารางที่3.18ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับ อัตราส่วนผสม วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ต่อมวลรวมใหม่ เท่ากับ50:50

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ(%), P_b	4.5	5.0	5.5
ปริมาณแอสฟัลต์ (%), P_{nb}	2.7	3.0	3.3
RAP(%), P_{sm}	40.1	39.9	39.7
มวลรวมใหม่ (%), P_{ns}	57.3	57.0	56.7
รวม (%)	100.0	100.0	100.0

3.3 การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม

โดยทำการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีมาร์แชลล์ตามมาตรฐาน ASTM D6926Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatusซึ่งออกแบบให้ก้อนตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มิลลิเมตร และสูง64มิลลิเมตร มีน้ำหนัก1,200กรัม จำนวน3ก้อนตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนผสมซึ่งในการศึกษานี้ ได้ออกแบบก้อนตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันตามอัตราส่วนวัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่ 4

อัตราส่วน (0:100, 20:80, 35:65 และ 50:50) โดยใช้วิธีการผสม 2 วิธี ได้แก่การผสมร้อน (HMA)และการผสมอุ่น (WMA) โดยในการผสมอุ่นใช้สารผสมเพิ่ม 2 ชนิด ที่เป็นสารอินทรีย์ (Sasobit®)และชนิดที่เป็นโพลีเมอร์ (Advera®) โดยใช้อุณหภูมิผสม 170, 150และ 130 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19รายการเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยมาร์แชลล์

วัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่	วิธีการผสม	อุณหภูมิที่ใช้ผสม (°C)
0:100	HMA	170
		150
		130
	WMA (Sasobit®)	170
		150
		130
	WMA (Advera®)	170
		150
		130
20:80	HMA	170
		150
		130
	WMA (Sasobit®)	170
		150
		130
	WMA (Advera®)	170
		150

		130
35:65	HMA	170
		150
		130
	WMA (Sasobit®)	170
		150
		130
	WMA (Advera®)	170
		150
		130

ตารางที่ 3.19รายการเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยมาร์แชลล์(ต่อ)

วัสดุผิวทางเก่า (RAP): วัสดุมวลรวมใหม่	วิธีการผสม	อุณหภูมิที่ใช้ผสม (°C)
50:50	HMA	170
		150
		130
	WMA (Sasobit®)	170
		150
		130
	WMA (Advera®)	170
		150
		130

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการผสมร้อน

วิธีการผสมร้อนเป็นวิธีการผสมที่ไม่มีการเติมสารผสมเพิ่มใด ๆ โดยทำการผสมและบดอัดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 170, 150 และ 130 องศาเซลเซียส เป็นจำนวน 75 ครั้งต่อด้าน ด้วยเครื่องบดอัดอัตโนมัติ HUMBOLDT MFG CO รุ่น H-1334BA.4F สูง 65 นิ้ว เป็นจำนวนด้านละ 75 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.9

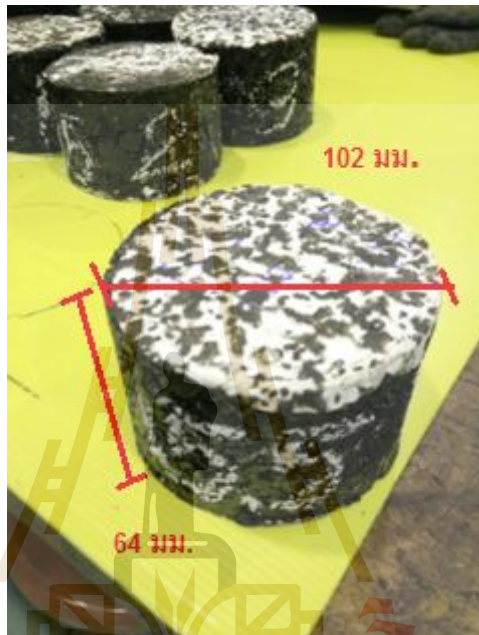


รูปที่ 3.9 เครื่องบดอัดอัตโนมัติ



รูปที่ 3.10 ตรวจสอบอุณหภูมิด้วย Thermometer Gun

จากรูปที่ 3.10 เป็นการตรวจสอบอุณหภูมิ ระหว่างการผสม วัสดุและแอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งในขั้นตอนนี้ อุณหภูมิอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้แต่ไม่ควรเกิน 5 องศาเซลเซียส จากวิธีการผสมและบดอัด เมื่อทำการบดอัดตัวอย่างเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นตัวลง แล้วดันตัวอย่างออกจากแบบหล่อ (Mold) แล้วทำการทดสอบคุณสมบัติโดยวิธีมาร์แชลล์ในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างที่ดันออกจากแบบหล่อ

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการผสมอุ่น

สำหรับวิธีการผสมอุ่นนั้น มีขั้นตอนการผสมเช่นเดียวกับวิธีการผสมร้อนดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.1 ไปข้างต้น แตกต่างกันเพียงแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมอุ่นจะต้องมีการผสมกันระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70 และสารผสมเพิ่ม ซึ่งได้แก่ Sasobit® และ Advera® โดยมีรายละเอียดการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการผสมอุ่นจำแนกตามชนิดของสารผสมเพิ่มดังนี้ ผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์เข้ากับสารผสมเพิ่มจำแนกตามชนิดสารผสมเพิ่มดังนี้

1. สารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์(Sasobit®)

การเตรียมตัวอย่างทำโดยผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์เข้ากับสารผสมเพิ่มชนิด Sasobit® ด้วยประมาณ 3% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ทำการคนอย่างต่อเนื่องจนสามารถสังเกตได้ว่า สารผสมเพิ่ม Sasobit® ละลายจนเป็นเนื้อเดียวกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เมื่อวัสดุเย็นตัวลงจะมีลักษณะผิวหน้าหรือผิวสัมผัสที่เปลี่ยนไปคล้าย

ขี้ผึ้ง (Wax) โดยรูปที่ 3.12ก และ ข แสดง การเปรียบเทียบผิวหน้าของแอสฟัลต์ซีเมนต์ก่อนและหลัง ผสมกับสารผสมเพิ่มSasobit® ตามลำดับ



(ก)(ข)

รูปที่ 3.12 (ก.) แอสฟัลต์ซีเมนต์ (ข.)แอสฟัลต์ซีเมนต์หลังจากที่มีการเติม Sasobit ®

2.สารผสมเพิ่มชนิด โฟม(Advera®)

การเตรียมตัวอย่างทำโดยการเติมAdvera®ประมาณ 0.25% โดยน้ำหนักก่อนตัวอย่างลงไป พร้อมวัสดุมวลรวมก่อนให้ความร้อนเป็นการผสมแห้ง (Dry Mixing) โดยทำการคลุกเคล้า Advera® ให้เข้ากันอย่างดีกับวัสดุมวลรวม ส่วนในขั้นตอนของการเติมแอสฟัลต์ซีเมนต์นั้น สามารถเติมลงในวัสดุได้โดยตรง เนื่องจากการผสมกันระหว่าง Advera®และวัสดุมวลรวมแล้ว



รูปที่ 3.13 การเตรียมตัวอย่างการผสม

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม

หลังจากทราบปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการออกแบบก่อนตัวอย่าง ในหัวข้อ 3.2 ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์หาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content; OAC) ด้วยเครื่องทดสอบมาร์แชลล์ ตามมาตรฐาน ASTM D 6927 Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures โดยพิจารณาความหนาแน่น (Density), ช่องว่างอากาศ (Air Voids,%), ช่องว่างถูกเติมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ (VFA,%), ช่องว่างในวัสดุรวมรวม (VMA,%), การไหล (Flow) และค่าเสถียรภาพ (Stability,lbs) โดยค่าเสถียรภาพ จะแสดงถึงความต้านทาน ต่อแรงกระทำ สูงสุดของ วัสดุโดยไม่เกิดแรงเฉือนระหว่างอนุภาค โดยในการศึกษาได้ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ที่แตกต่างกัน 3 ค่าในการวิเคราะห์หาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม โดยมี 1 ค่าที่มีค่าปริมาณมากกว่า ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ (Pb) และมีอีก 1 ค่าที่มีค่าน้อยกว่าค่า Pb ที่คำนวณได้ ซึ่งได้แก่ 4.5%, 5% และ 5.5% โดยทำการเตรียมตัวอย่างจำนวน 2 ตัวอย่างต่อ 1 ค่าปริมาณแอสฟัลต์

จากนั้นนำก้อนตัวอย่างมาทำการทดสอบ หาความหนาแน่น, การไหล, เสถียรภาพ ร้อยละช่องว่างที่ถูกเติมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ และร้อยละช่องว่างในมวลรวม ตามข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ และพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอสฟัลต์กับความหนาแน่น การไหล เสถียรภาพ ร้อยละช่องว่างที่ถูกเติมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ และร้อยละช่องว่างในมวลรวมแสดงดังรูปที่ ก-1-ก36 ในภาคผนวก ก. ในการหาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content; OAC) โดยพิจารณาจากช่องว่างอากาศ ที่ 4% โดยผลการศึกษา ปริมาณแอสฟัลต์ ซีเมนต์ที่เหมาะสม และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ที่ต้องการ (Pnb) แสดงดังตารางที่ 3.20

ตารางที่ 3.20 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ที่ต้องการ

วัสดุรวมเก่า: มวลรวมใหม่	วิธีการผสม	อุณหภูมิที่ใช้ผสม (°C)	แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (%OAC)	แอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ (%Pnb)
0:100	HMA	170	4.98	4.98
		150	5.03	5.03
		130	5.15	5.15
	(Sasobit®)	170	4.71	4.71
		150	4.74	4.74
		130	4.91	4.91

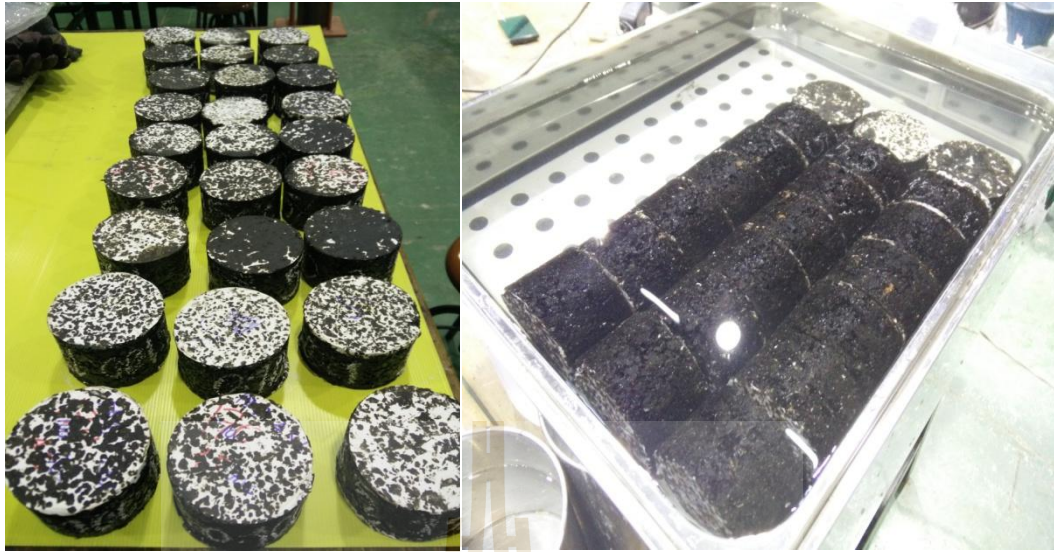
	WMA	170	4.97	4.97
	(Advera®)	150	4.99	4.99
		130	5.04	5.04
20:80	HMA	170	4.65	4.05
		150	4.69	4.09
		130	4.78	4.18
	WMA (Sasobit®)	170	4.71	4.11
		150	4.74	4.14
		130	4.91	4.31
	WMA (Advera®)	170	4.65	4.05
		150	4.75	4.15
		130	4.77	4.17
35:65	HMA	170	4.67	3.62
		150	4.68	3.63
		130	4.85	3.80
	WMA (Sasobit®)	170	4.85	3.80
		150	4.86	3.81
		130	5.00	3.95
	WMA (Advera®)	170	4.53	3.48
		150	4.67	3.62
		130	4.75	3.70

ตารางที่ 3.20 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ที่ต้องการ (ต่อ)

วัสดุรวมเก่า: มวลรวมใหม่	สารผสมเพิ่ม	อุณหภูมิที่ใช้ผสม (°C)	แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม	แอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่
50:50	HMA	170	4.58	3.08
		150	4.77	3.27
		130	4.91	3.41
	WMA (Sasobit®)	170	4.63	3.13
		150	4.80	3.30
		130	4.94	3.44
	WMA (Advera®)	170	4.60	3.10
		150	4.74	3.24
		130	4.88	3.35

3.5 การเตรียมก้อนตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบความไวต่อความชื้น

ในขั้นตอนนี้เป็นการจัดเตรียมก้อนตัวอย่างที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ทดสอบความไวต่อความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM D6926 Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall โดยก้อนตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มิลลิเมตร และสูง 64 มิลลิเมตร แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 สภาวะคือสภาวะเปียก (แฉ่น้ำ) และสภาวะแห้ง สภาวะละ 3 ก้อนตัวอย่าง ในแต่ละอัตราส่วนผสม แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ก่อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบความไวต่อความชื้น

สำหรับสภาวะเปียกทำโดยการจุ่ม ตัวอย่างให้จุ่มตัวด้วยน้ำในช่วง 55 ถึง 80% ดังแสดงในรูปที่ 3.15 หลังจากนั้นจะนำก้อนตัวอย่างแช่ในอ่างน้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิอุณหภูมิที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และควบคุมอุณหภูมิในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิให้มี อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับ ก่อนทำการทดสอบ สำหรับสภาวะแห้งทำการควบคุมก้อนตัวอย่าง ให้มีอุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ก่อนทำการทดสอบ



รูปที่ 3.15 การเตรียมตัวอย่างในสภาวะเปียก

3.6 การทดสอบความไวต่อความชื้น

ในการศึกษานี้ได้ใช้วิธีการทดสอบแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength Test) ตามมาตรฐาน ASTM D6931 Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures โดย

กำหนดให้ Loading Strip ควรมีความกว้าง 12.70 ± 0.3 มม. สำหรับตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มม. และ Loading Strip ควรยาวกว่าความหนาของก้อนตัวอย่างและก้อนตัวอย่างควรมีความสูงอย่างน้อย 50.8 ± 5 มม./นาที่ จนกระทั่งก้อนตัวอย่างเกิดการวิบัติจึงบันทึกค่าแรงกระทำสูงสุด

การทดสอบแรงดึงทางอ้อมเป็นการให้แรงกระทำเป็นแรงอัด (Compaction Load) โดยสามารถให้แรงกระทำ 2 แบบ ได้แก่ แรงกระทำซ้ำ (Dynamic Load) และแรงกระทำคงที่ (Static Load) โดยการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธีให้แรงกระทำที่ ด้วยอัตรา 50 มม/นาที่ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.5

$$S_t = \frac{2P}{\pi Dt} \quad (3.5)$$

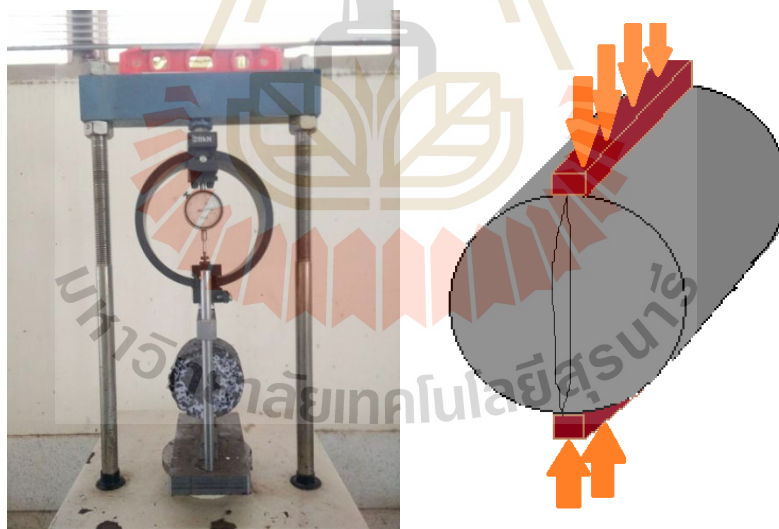
โดยที่

S_t = Tensile Stress, kPa (psi)

P = น้ำหนักที่กระทำก้อนตัวอย่าง, N (lbf)

t = ความสูงของก้อนตัวอย่างก่อนทดสอบ, mm. (in)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง, mm. (in)



รูปที่ 3.16 การทดสอบแรงดึงทางอ้อม

ในการพิจารณาแรงดึงทางอ้อมเฉลี่ยในสภาวะเปียกต่อสภาวะแห้งหรือค่า Tensile Strength Ratio (TSR) ตามมาตรฐาน ASTM D4867 Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixture โดยค่า TSR ควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 80%

จากนั้นคำนวณค่าสัดส่วนระหว่างแรงดึงทางอ้อมในสภาวะเปียกเทียบกับสภาวะแห้ง ดังสมการที่ 3.6 โดยค่า TSR มีค่าไม่ต่ำกว่า 80%

$$TSR = (S_m/S_{td}) 100 \quad (3.6)$$

โดยที่ TSR = Tensile Stress Ratio, %

S_m = ค่าเฉลี่ยของ tensile stress ในสภาวะเปียก

S_{td} = ค่าเฉลี่ยของ tensile stress ในสภาวะแห้ง

ในการวิเคราะห์โอกาสที่จะเกิดความเสียหายเนื่องจากความชื้น (Moisture Damage) จะพิจารณาค่า TSR ถ้า ส่วนผสมใดมีค่า %TSR สูงกว่าแสดงว่าจะมีความไวต่อความชื้น ในทำนองเดียวกันถ้ามีส่วนผสมใดมีค่า TSR ที่ต่ำ แสดงว่าส่วนผสมนั้นมีโอกาสเกิดความเสียหายเนื่องจากความชื้น ได้สูงกว่า

3.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 เป็นการวิเคราะห์ผลการศึกษารอบการออกแบบอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ เปรียบเทียบ อัตราส่วนระหว่างวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่ที่แตกต่างกัน 4 อัตราส่วนผสมและเปรียบเทียบ วิธีการผสมและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ผลการทดสอบความไวต่อความชื้น รายละเอียดแสดงดังบทที่ 4



เอกสารอ้างอิง

- Ali, A., Abbas, A., Nazzal, M., Alhasan, A., Roy, A., & Powers, D. (2013). Effect of temperature reduction, foaming water content, and aggregate moisture content on performance of foamed warm mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 48, 1058-1066. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.07.081
- Ashley Busset al. (2015) Evaluation of moisture susceptibility tests for warm mix asphalts
- Austerman AJ, Mogawer WS, Bonaquist R . (2009) Investigation of the influence of warm mix asphalt additive dose on the workability, cracking susceptibility, and moisture susceptibility of asphalt mixtures containing reclaimed asphalt Pavement. The Canadian technical asphalt association (CTAA), Moncton, NB, November; 2009. p. 51–20.
- Behiry (2013). Laboratory evaluation of resistance to moisture damage in asphalt mixtures. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(3), 351-363. doi: 10.1016/j.asej.2012.10.009
- Borleo, Kanitpong, and Charoentham . Performance Evaluation of Warm Mix Asphalt Produced with Sasobit Additive, 6th ICPT, Sapporo, Japan

- Chen, X., & Huang, B. (2008). Evaluation of moisture damage in hot mix asphalt using simple performance and superpave indirect tensile tests. *Construction and Building Materials*, 22(9), 1950-1962. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.07.014
- Colbert, B., & You, Z. (2012). The determination of mechanical performance of laboratory produced hot mix asphalt mixtures using controlled RAP and virgin aggregate size fractions. *Construction and Building Materials*, 26(1), 655-662. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.06.068
- D'Angelo, J., Harm, E., Bartosze, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowser, J., et al. (2008). *Warm-Mix Asphalt: European Practice*. Alexandria, VA: American Trade Initiatives.
- Engineeringcivil. Civil Engineering Portal.(2007) Design graphs for Marshall Mix Design
- F. Parker and F.A. Gharaybeh, "Evaluation of Tests to Assess Stripping Potential of Asphalt Concrete Mixtures". *Transportation Research Record (TRR) No.1171*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C, 1988, pp:
- Feipeng Xiao et al.(2014) Influence of Antistripping Additives on Moisture Susceptibility of Warm Mix Asphalt Mixtures
- FHWA. *Warm Mix Asphalt Technologies*. from <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/4-Long-LifeAsphaltPavements-21stCentury-WarmMixAsphalt-Corrigan-FHWA.pdf>
- FHWA.(2012) *Hot Mix Asphalt Recycling (Materials and Mix Design)*.
- FHWA. *Warm Mix Asphalt Technologies and Research*.2016 [cited 2015 Jan23]. Available from: <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/asphalt/wma.cfm>
- Ghabchi, R., Singh, D., & Zaman, M. (2014). Evaluation of moisture susceptibility of asphalt mixes containing RAP and different types of aggregates and asphalt binders using the surface free energy method. *Construction and Building Materials*, 73, 479-489. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.042
- Goh, S. W., Hasan, M. R. M., & You, Z. (2013). Performances Evaluation of Cecabase® RT in Warm Mix Asphalt Technology. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96, 2782-2790. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.08.311
- Gonzalo Valdés , Félix Pérez-Jiménez et al. (2010) Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP)
- Graham C. Hurley, Brian D. Prowell (2005).EVALUATION OF SASOBIT® FOR USE IN WARM MIX ASPHALT

- Guo, N., You, Z., Zhao, Y., Tan, Y., & Diab, A. (2014). Laboratory performance of warm mix asphalt containing recycled asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 64, 141-149. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.002
- Kanitpong, K., Sonthong, S., Nam, K., Martono, W., & Bahia, H. U. (2007) Laboratory Study on Warm Mix Asphalt Additives
- Kvasnak, Andrea and WestRandy C (2009) Case Study of Warm-Mix Asphalt Moisture Susceptibility in Birmingham, Alabama
- Marisa Dinis-Almeida a, João Castro-Gomes et al. (2016) Performance of Warm Mix Recycled Asphalt containing up to 100% RAP
- Martina Irene Giani , Giovanni Dotelli, et al. (2015) Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling
- Martins Zaumanis, Juris Smirnovs. analysis of possibility for use of warm mix asphalt in Latvia
3rd International Conference CIVIL ENGINEERING'11 Proceedings I BUILDING MATERIALS
- Mogawer PE, W.S et al. Incorporating high percentages of recycled asphalt pavement and warm- mix asphalt technology into thin hot-mix asphalt overlays as pavement preservation strategy. In: Transportation research board 88th annual meeting. Transportation Research Board; 2009. 21p.
- Pavementinteractive(2011). Moisture Susceptibility.
- Mostostal Warszawa S.A.Galeria(2010)Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice Publication No. FHWA-HRT-11-021 april 2011
- Rodrigo Miró, Gonzalo Valdés , et al.(2011) Evaluation of high modulus mixture behavior with high reclaimed asphalt pavement (RAP) percentages for sustainable road construction
- Shu, X., Huang, B., Shrum, E. D., & Jia, X. (2012). Laboratory evaluation of moisture susceptibility of foamed warm mix asphalt containing high percentages of RAP. *Construction and Building Materials*, 35, 125-130. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.02.095
- Van der Poel, C. (1954). "A general system describing the visco-elastic properties of Bitumens and its relation to routine test data." *J. Appl. Chem.*, 4, 221-236.
- Yuhong Wang (2016) The effects of using reclaimed asphalt pavements (RAP) on the long-term performance of asphalt concrete overlays
- Zhao, S., Huang, B., Shu, X., & Woods, M. (2013). Comparative evaluation of warm mix asphalt containing high percentages of reclaimed asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 44, 92-100. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.010

Zhao S, Huang B, Shu X, Jia X, Woods M.(2013) Laboratory performance evaluation of Warm mix asphalt containing high percentages of RAP. Transport Res Record: JTransport Res Board, National Academies, Washington (DC) 2012; 2294:98–105.

ณัฐกรณ์ เจริญธรรม และ กัณวีร์ กนิษฐ์พงศ์(2554). การสำรวจความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลท์ คอนกรีตชนิดผสมอุ่นด้วยการทดสอบการคืบแบบการให้แรงกระทำซ้ำ, งานประชุมวิชาการการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 6, มหาวิทยาลัยนเรศวร, จ. พิษณุโลก, ประเทศไทย

กรมทางหลวง. , (2517), วิธีการทดลองแอสฟัลต์ดีดคอนกรีต โดยวิธี Marshall

กรมทางหลวง., (2517) วิธีการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ

กรมทางหลวง. ,(2532)มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt)

กรมทางหลวง. , (2515)วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง

Los Angeles Abrasion

กรมทางหลวง. , (2518)วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index)

กรมทางหลวง. , (2518)วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index)

กรมทางหลวง. , (2531) วิธีการทดลองหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวมโดยการใช้

โซเดียมซัลเฟตหรือแมกนีเซียม ซัลเฟต

กรมทางหลวง. , (2515) วิธีการทดลองหาค่าเทียบเท่าทราย

กรมทางหลวง. , (2547) วิธีการทดลองหาปริมาณการแตกหักของวัสดุมวลรวมเมื่อถูกแรงตก

กระแทก

กรมทางหลวง. , (2517) วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง

ASTM, 2004 ASTM D4867 (2004) Standard Test Method for Effect of Moisture on

Asphalt Concrete paving Mixtures, American Society for Testing and Materials,

Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.03,

ASTM, 2012 ASTM D4867 (2012) Standard Test Method Indirect Tensile (IDT)

Strength of Bituminous Mixtures, American Society for Testing and Materials,

Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.03.

ASTM, 2010 ASTM D6926 (2010) Standard Practice for Preparation of Bituminous

Specimens Using Marshall Apparatus, American Society for Testing and

Materials, Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.03.

ASTM, 2006 ASTM D6926 (2006), Standard Test Method for Marshall Stability and Flow

Of Bituminous Mixture., American Society for Testing and Materials,

Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.03.



ประวัติผู้เขียน

นางสาวพิชญากรณ์ มาเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2534 ณ จังหวัดลพบุรี เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนสัตยาไส จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมจากโรงเรียนตากลิประชาสรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาระดับชั้นปริญญาตรีจากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ปี พ.ศ. 2556 ในระหว่างที่ทำการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มีความสนใจเกี่ยวกับแอสฟัลต์และเรื่องที่เกี่ยวข้อง จึงทำให้เกิดแรงจูงใจในการศึกษาต่อระดับปริญญาโท เพื่อเป็นการพัฒนาความรู้และความสามารถให้กับตนเอง หลังจากจบการศึกษาระดับปริญญาตรีจึงเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งในทันที

