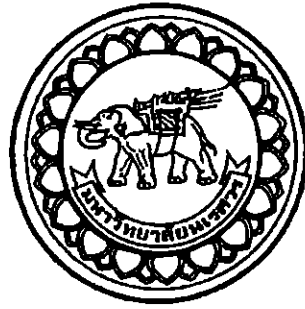




ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อ เสถียรภาพ และ การไหล ของแอสฟัลต์คอนกรีต

THE EFFECT OF TEMPERATURE ON STABILITY AND FLOW
OF ASPHALT CONCRETE

นายณรงค์ฤทธิ์	พันธ์ภู	รหัส 50360890
นายภัทรโชค	อยู่สุข	รหัส 50360583
นางสาวปริยานุช	ไหมจันทร์	รหัส 50365789

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปีการศึกษา 2553

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ.....24 มิ.ย. 2554.....
เลขทะเบียน.....15519263.....
เลขเรียกหนังสือ.....มร.....
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

229 2553



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ	ผลกระทบของอุณหภูมิต่อเสถียรภาพ และการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายณรงค์ฤทธิ์	พันธ์ภู	รหัส 50360890
	นายภัทรโชค	อยู่สุข	รหัส 50361583
	นางสาวปริยาณูช	ใหม่จันทร์	รหัส 50365789
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์บุญพล มีไชโย		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี		
ปีการศึกษา	2553		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์บุญพล มีไชโย)

.....กรรมการ
(อาจารย์กนกพงศ์ หอมเนียม)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สลิกรณ เหลืองวิชเชริญ)

ชื่อหัวข้อโครงการ	ผลกระทบของอุณหภูมิต่อเสถียรภาพ และการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายณรงค์ฤทธิ์	พันธ์ภู	รหัส 50360890
	นายภัทร โชค	อยู่สุข	รหัส 50361583
	นางสาวปริญญ	ใหม่จันทร์	รหัส 50365789
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์บุญพล มีไชโย		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร		
ปีการศึกษา	2553		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อเสถียรภาพ และการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต จึงได้ออกแบบการทดลองหาคุณสมบัติ ให้มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 30, 40, 50 และ 60 องศา ก่อนนำก้อนตัวอย่างที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติ ด้านเสถียรภาพ(Stability) และการไหล(Flow) โดยอ้างอิงจาก มาตรฐานของกรมทางหลวง (ทล.-ท. 604/2517) ซึ่งการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตในที่นี้ใช้วัสดุมวลรวมจาก โรงไม้หินศิลาบุรี อำเภอทองแสงวัน จังหวัดอุตรดิตถ์ ผลการทดสอบ อุณหภูมิมีผลต่อ ค่าเสถียรภาพ และค่าการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าเสถียรภาพจะลดลง คือ ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศา ค่าเสถียรภาพมีค่าเป็น 2,695 2,540 2,410 และ 2,343 Lbs. ตามลำดับ ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไปของแต่ละช่วงอุณหภูมิจึงเป็น 5.75%, 5.12% และ 2.78% ของการเปลี่ยนแปลงของค่าเสถียรภาพทั้งหมด และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อค่าความสามารถในการไหล (Flow) ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศา ค่าการไหลมีค่าเป็น 9, 10, 11 และ 13 (1/100" Flow) ตามลำดับ แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความสามารถในการไหลก็จะเพิ่มขึ้น

จากผลการทดสอบ ผลกระทบของอุณหภูมิต่อเสถียรภาพ และการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบมวลรวมเหลวขึ้น ความสามารถในการยึดเกาะกันของอนุภาคของมวลรวมลดลง เมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุก แอสฟัลต์คอนกรีตจึงเกิดการลื่นไถลได้ง่าย เนื่องจากมีความสามารถในการไหลสูง ส่งผลให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของผิวทางลดลง

Project title The effect of temperature on stability and the flow of asphalt concrete.

Name Mr. Narongrit Panpoo Code 50360890

 Mr. Pattharachok Yoosuk Code 50361583

 Miss Priyanoot Maijan Code 50365789

Project advisor Mr.Boonphol Meechaiyo

Major Civil Engineering

Department Civil Engineering,Faculty of Engineering Naresuan University

Academic year 2010

.....

Abstract

This project aims to study the effect of temperature on stability and the flow of asphalt concrete. This experiment is designed to find property to control the temperature at 30, 40, 50 and 60 degrees before to take asphalt concrete sample were tested property Stability (Stability) and flow (Flow) based of standards of the Department of Highways (De.-d. 604/2517), the design of asphalt concrete aggregate materials from Sila U-D Stone Mill, Thong San Kun district, Uttaradit. The result of test, temperature affects the stability and the flow of asphalt concrete when the temperature was higher. The stability is reduced at 30, 40, 50 and 60 degrees, the value stable is 2,695 2,540 2,410 and 2,343 Lbs., The change stability of each temperature range, representing 5.75%, 5.12% and 2.78% of change value of all stability. And the relationship between temperature and the ability to flow (Flow) at 30, 40, 50 and 60 degrees, the flow is set to 9, 10, 11 and 13 (1 / 100 "Flow), indicating that at higher temperatures the flow will increase.

The results showed the effect of temperature on stability and the flow of the asphalt concrete can be concluded that because higher temperatures cause the asphalt coated aggregate more liquid. The ability to grip each of the mass of the particles decreased. When the load Asphalt concrete is caused to easily slip. Because the ability to flow much, it is the cause of the ability of the surface payload is decreased.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้ถูกล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจาก อาจารย์บุญพล มีไชโย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำปรึกษา ตรวจสอบ แก้ไข และชี้แนะรายงานโครงการนี้จนสำเร็จถูกล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง ด้วยความกรุณา มา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ สำนักทางหลวงที่ 4 พิษณุโลก (ส่วนตรวจสอบวิเคราะห์ทางวิศวกรรม) ที่กรุณาอำนวยความสะดวก เอื้อเฟื้อในการใช้สถานที่และอุปกรณ์ทั้งในและนอกเวลาราชการ ในการปฏิบัติโครงการ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่เป็นกำลังใจ ช่วยเหลือ และอยู่เคียงข้างมาตลอดเวลา

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายณรงค์ฤทธิ์ พันธุ์

นายภัทรโชค อยู่สุข

นางสาวปริยานุช ไหมจันทร์

มีนาคม 2554

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ญ

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt concrete).....	4
2.2 วัสดุผสมรวม.....	4
2.3 ขางแอสฟัลต์ AC(60/70).....	4
2.4 การศึกษาการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีต.....	5
2.5 การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต ตามวิธีมาร์แชลล์.....	5

บทที่ 3 วิธีการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต.....	8
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ.....	8
3.2 วัสดุที่ใช้.....	9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การเตรียมวัสดุ.....	9
3.4 การทดสอบวัสดุ.....	11
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล.....	29
4.1 ค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวม (Aggregates).....	29
4.2 ค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของยางแอสฟัลต์ AC(60/70).....	29
4.3 การทดสอบความหนาแน่น.....	30
4.4 การทดสอบความเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต.....	31
4.5 การทดสอบค่าการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต.....	32
4.6 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการคำนวณ.....	33
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	36
5.1 บทสรุป.....	36
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก ก.....	44
ภาคผนวก ข.....	47
ภาคผนวก ค.....	49
ภาคผนวก ง.....	52

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการศึกษาโครงการ.....	3
4.1 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวม.....	15
4.2 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำมันของแอสฟัลต์ AC(60/70).....	15
5.1 ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเสถียรภาพ กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป.....	23
5.2 ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการไหล กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป.....	24
5.3 ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าเสถียรภาพ(Stability) ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete.....	26
5.4 ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล(Flow) ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete.....	28

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน.....	10
3.2 การอบวัสดุมวลรวม.....	15
3.3 การให้ความร้อนกับแบบหล่อ.....	15
3.4 การให้ความร้อนกับยางแอสฟัลต์ AC(60-70).....	16
3.5 การผสมมวลรวมกับวัสดุแอสฟัลต์ AC(60-70).....	16
3.6 อุปกรณ์ในการตักก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต.....	17
3.7 การเทตัวอย่างที่ผสมเข้ากันแล้วลงแบบที่เตรียมไว้.....	17
3.8 การเตรียมตัวอย่างก่อนคั่ว.....	18
3.9 การตักก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต.....	18
3.10 ลักษณะก้อนตัวอย่างขณะที่ยังอยู่ในแบบหล่อ.....	19
3.11 การคั่นก้อนตัวอย่างออกจากแบบหล่อ.....	19
3.12 การให้ความร้อนกับก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต.....	20
3.13 การทดสอบค่า Stability และค่า Flow.....	20
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก.....	30
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพ กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก.....	31
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหล กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก.....	32
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก.....	33
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก.....	34
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยยาง AC(60/70) กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก.....	35
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าเสถียรภาพ(Stability).....	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล(Flow).....	38
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าเสถียรภาพ(Stability) ของ Asphalt Concrete และ Recycling Asphalt Concrete	40
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล(Flow) ของ Asphalt Concrete และ Recycling Asphalt Concrete.....	41



คำนิยามศัพท์

Density(D)	ความหนาแน่น(gm./ml.)
Stability(S)	เสถียรภาพ(Lbs.)
Flow(F)	ค่าการไหล(1/100 นิ้ว)
Air Voids(AV)	ช่องว่างอากาศ(%)
Voids in Mineral Aggregate(VMA)	ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม(%)
Voids Filled with Bituminous(VFB)	ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์(%)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

แอสฟัลต์คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคาและคุณสมบัติต่างๆ แอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วนคือ ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) และวัสดุมวลรวมขนาด $3/4$, $1/2$, $3/8$ และหินฝุ่น โดยใช้ความร้อนเป็นตัวช่วยในการประสานเมื่อนำมาผสมกัน จะคงสภาพของเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงแบบหล่อ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักได้ดี

ในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตโดย วิธีมาร์แชลล์ ได้มีการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยการทดสอบค่าเสถียรภาพ (Stability) และค่าการไหล (Flow) ซึ่งค่าดังกล่าวบ่งบอกถึงความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจร ได้โดยไม่เกิดร่องล้อ หรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างผิดไปจากเดิม ความมีเสถียรภาพ และความสามารถในการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต ขึ้นอยู่กับความเสียดทานภายใน และแรงยึดประสานระหว่างอนุภาคของมวลรวม ลักษณะความเรียบ หยาบ หรือความขรุขระของผิวอนุภาคของมวลรวม

การเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์จนถึงค่าหนึ่ง จะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบอนุภาคของมวลรวมหนาเกินไป เป็นผลให้ความเสียดทานระหว่างอนุภาคของมวลรวมมีค่าลดลง ความสามารถในการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเสถียรภาพมีค่าลดลง

อุณหภูมิเป็นปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบโดยตรงต่อค่าการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต เนื่องจากอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงได้ทำการศึกษา เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบที่ว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ส่งผลให้ค่าเสถียรภาพ และค่าการไหล เปลี่ยนไปในทิศทางใด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหาส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่เหมาะสมและใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานในสนาม
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านค่าเสถียรภาพ และค่าการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศา
- 1.2.3 เพื่อให้ได้มาซึ่งวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณภาพและนำไปใช้งานได้จริง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

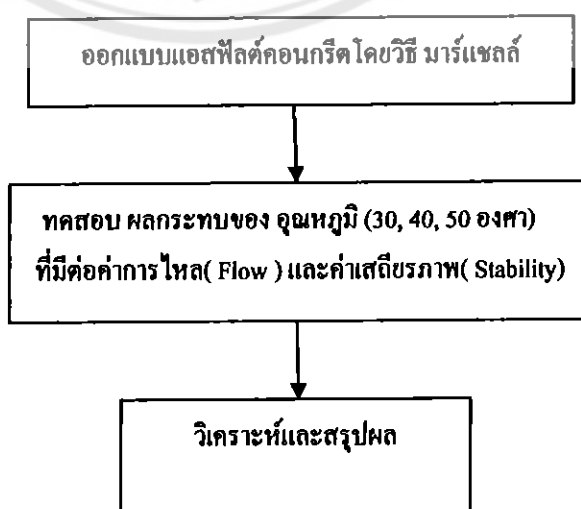
- 1.3.1 ได้ส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่เหมาะสม และใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานในสนามมากที่สุด
- 1.3.2 ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณภาพดี สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผิวทางของถนนอย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.3.3 ทราบถึงสาเหตุ และปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านเสถียรภาพ และการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต

1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

ศึกษาการออกแบบส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตให้มีสัดส่วนระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ กับมวลรวมที่เหมาะสม เพื่อให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณภาพดี สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุผิวทางของถนนอย่างมีประสิทธิภาพ คงทนถาวรตลอดอายุการใช้งาน และลดปัญหาความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

การทดลองคุณสมบัติได้ ควบคุมอุณหภูมิที่ 30, 40, 50 องศา และทำการทดสอบคุณสมบัติด้านเสถียรภาพ(Stability) และการไหล(Flow) โดยอ้างอิงจาก มาตรฐานของกรมทางหลวง (ทล.-ท. 604/2517) การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตในที่นี้ใช้วัสดุมวลรวมจาก โรงไม้หินศิลาบุรี อำเภอบางบาล จังหวัดอุตรดิตถ์

1.5 ขั้นตอนดำเนินงาน



1.6 แผนการดำเนินงาน

เดือน/กิจกรรม	ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ศึกษาข้อมูล																				
2. หาข้อมูลของงานวิจัย ทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ																				
3. ออกแบบก่อนตัวอย่าง ทำก่อนตัวอย่าง และทำการทดสอบ																				
4. สรุปและวิเคราะห์ผล																				
5. จัดทำรูปเล่ม																				

ตารางที่ 1.1 แผนการศึกษาโครงการ

1.7 รายละเอียดงบประมาณของโครงการ

1.7.1 ค่าใช้จ่ายเอกสาร	500	บาท
1.7.2 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	500	บาท
1.7.3 ค่าวัสดุในการทำโครงการ	1,000	บาท
1.7.4 ค่าอุปกรณ์ในการทำโครงการ	1,000	บาท
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด	3,000	บาท(สามพันบาทถ้วน)

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเบื้องต้นของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ และวิธีการคำนวณ ผลการทดสอบ ค่าความหนาแน่น ค่าความเสถียรภาพ ค่าการไหล ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ ค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวม และค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยยางแอสฟัลต์ AC (60/70)

2.1 แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt concrete)

เนื่องจากแอสฟัลต์คอนกรีต โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) กับวัสดุ มวลรวมหยาบและวัสดุมวลรวมละเอียด เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ซึ่งในปัจจุบัน โรงไม้หินที่ทำการผลิตมวลรวม(Aggregate) มีจำนวนมาก ซึ่งถ้าหากเราเลือกวัสดุจากโรงไม้ที่มีคุณภาพการผลิตที่ดี นั้น ย่อมทำให้งานทางวิศวกรรมที่ใช้แอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณภาพที่ดีตามไปด้วย

2.2 วัสดุมวลรวม(Aggregate)

มวลรวมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีต มวลรวม(Aggregate)ที่ใช้สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีต จำแนกออกเป็น วัสดุมวลรวมหยาบ(Coarse Aggregate)และวัสดุมวลรวมละเอียด(Fine Aggregate)

2.2.1 วัสดุมวลรวมหยาบ(Coarse Aggregate)

วัสดุมวลรวมหยาบ หมายถึง มวลที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร หรือค่า สดแรงเบอร์ 4

2.2.2 วัสดุมวลรวมละเอียด(Fine Aggregate)

วัสดุมวลรวมละเอียด หมายถึง มวลที่มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 4.75 มิลลิเมตร และ 0.075 มิลลิเมตร หรือผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 200

2.3 ยางแอสฟัลต์ AC(60/70)

ยางแอสฟัลต์ที่ใช้ในงานนี้ เลือกยางให้เหมาะสมต่อสภาพอากาศในประเทศไทย ซึ่งมี อากาศร้อนควรใช้ยางชนิด Penetrationเกรด 60-70 เช่นเดียวกับสัดส่วนขนาดของมวลรวมปริมาณ- ยางที่ใช้ในการทดสอบก็จะแตกต่างกันตามอัตราส่วน โดยน้ำหนักของก้อนตัวอย่างในการนำไปใช้ งาน ยางที่ใช้จะต้องให้ความร้อน ณ อุณหภูมิที่ 150 ± 5 องศาเซลเซียส

2.4 การศึกษาการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีต

การผลิตคอนกรีตแอสฟัลต์ทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยมี 2 วิธี คือ แบบผสมเสร็จจากโรงงาน (Plant mix) และแบบผสมในสนาม (Field mix) กรรมวิธีในการทำคอนกรีตแอสฟัลต์ผสมเสร็จคือ ต้องมีโรงงานหรือสถานที่ผสม (Plant) โดยให้ความร้อนแก่หินและยางจนได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้วจึงผสมคลุกเคล้ากันในเครื่องในอัตราส่วนที่ถูกต้องตามที่ต้องการออกมาได้ เมื่อผสมจนได้ที่จึงเทใส่รถบรรทุกแล้วนำไปยังสถานที่ก่อสร้าง เทลงในเครื่องปูคอนกรีตแอสฟัลต์ (Asphalt concrete paving machine or paver) ปูตามความหนาที่ต้องการ แล้วบดอัดด้วยรถบดล้อเหล็ก หรือล้อยาง ตามลำดับ แอสฟัลต์คอนกรีตแอสฟัลต์ที่ผสมโดยวิธีนี้ถือว่ามีคุณภาพดีที่สุดแต่มีราคาค่อนข้างแพง เพราะต้องใช้เครื่องจักร และเครื่องมือหลายชนิด ส่วนคอนกรีตแอสฟัลต์แบบผสมในสนามทำได้โดยราดแอสฟัลต์บนพื้นผิวที่ได้เตรียมไว้ แล้วเกลี่ยมวลรวม เช่น หินย่อย หรือกรวดย่อยปิดทับแล้วทำการบดทับให้เรียบ เรียก “Surface Treatment” ผิวทางประเภทนี้อาจทำเพียงชั้นเดียว (Single Bituminous Surface Treatment, SBST) สองชั้น (Double Bituminous Surface Treatment, DBST) หรือหลายชั้น (Multi Bituminous Surface Treatment, MBST) ผิวทางแบบนี้คุณภาพไม่ดีเท่าแบบผสมเสร็จ แต่ทำได้รวดเร็วและมีราคาถูกกว่าอย่างไรก็ตามไม่ว่าจะก่อสร้างโดยวิธีใดจะต้องคำนวณออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับจำนวนขบวนพาหนะ (หรือโดยนัยคือ น้ำหนักของขบวนพาหนะ) และต้องทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในท้องปฏิบัติการเสมอ

2.5 การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต ตามวิธีมาร์แชลล์

2.5.1 ทั่วไป

โครงการนี้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุมวลรวมหยาบ วัสดุมวลรวมละเอียด และยางแอสฟัลต์ AC(60/70) โดยวิธีมาร์แชลล์ เพื่อใช้ในการทดสอบค่าความหนาแน่น ค่าความเสถียรภาพ ค่าการไหล ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ ค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวม และค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยยางแอสฟัลต์ AC (60/70)

- ก. ความหนาแน่น (Density, D) คือ มวลของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากพอจะทำให้มีอายุการใช้งานได้นานและมีคุณภาพดี

$$\text{ดังนั้น} \quad D = (A / (B-C)) \quad (2.1)$$

$$\text{เมื่อ} \quad D = \text{ความหนาแน่น (gm./ml.)}$$

A = ชั่งน้ำหนักในอากาศ (gm.)

B = ชั่งน้ำหนักอิมคัฟวิแห่ง (gm.)

C = ชั่งน้ำหนักในน้ำ (gm.)

ข. เสถียรภาพ(Stability) คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรได้โดยไม่เกิด ร่องล้อ หรือเป็นคลื่น หรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ผิดไปจากเดิม ความมีเสถียรภาพ ของแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับความเสียดทานภายใน และแรงยึดประสานระหว่าง อนุภาคของมวลรวม ความเสียดทานเป็นผลมาจากคุณสมบัติของมวลรวม ซึ่งได้แก่ รูปร่างอนุภาคของมวลรวมลักษณะความเรียบ หยาบ หรือขรุขระของผิวอนุภาคของมวล รวม ส่วนแรงยึดเกาะเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแอสฟัลต์ในการยึดเกาะกับอนุภาค ของมวลรวมให้ติดกันได้เพียงใด ผลรวมของความเสียดทาน และแรงยึดเกาะระหว่าง อนุภาคของมวลรวม จะช่วยป้องกันไม่ให้อนุภาคของมวลรวมเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่ง กันและกันเมื่อน้ำหนักของยานพาหนะมากระทำ

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad S &= (9.7021X) - 31.5189 & (2.2) \\ \text{เมื่อ} \quad S &= \text{เสถียรภาพ(Lbs.)} \\ X &= \text{ค่าที่อ่านได้จาก Dial gage} \end{aligned}$$

ค. ค่าการไหล (Flow) คือ ความสามารถทนต่อสภาพอุณหภูมิที่สูงขึ้นเมื่อสภาพถนน จริงได้รับความร้อนจะเกิดการไหลของผิวทางจราจร ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ฉะนั้นในห้องทดลองจึงได้จำลองโดยการนำก้อนตัวอย่างแช่น้ำ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และนำมาทดสอบหาค่าการไหลเพื่อจะนำไปใช้จริงใน สภาพนั้นๆ

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad F &= \text{ค่าที่อ่านได้จาก Dial gage (1/100)} & (2.3) \\ \text{เมื่อ} \quad F &= \text{ค่าการไหล (cm.)} \end{aligned}$$

ง. ช่องว่างอากาศ (Air Void, AV) คือ ปริมาตรทั้งหมดของช่องเล็กๆที่มีอากาศบรรจุอยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว แสดงเป็นค่าร้อยละของปริมาตรทั้งหมดของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว

ดังนั้น $AV = VMA - j$ (2.4)

เมื่อ $AV = \text{ช่องว่างอากาศ (\%)}$

$VMA = \text{ช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวม(\%)}$

$J = \text{ผลรวมปริมาตรยางแอสฟัลต์ AC (60/70)(\%)}$

จ. ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate, VMA) คือ ปริมาตรของช่องว่างที่อยู่ระหว่างอนุภาคแต่ละก้อนของมวลรวมในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้วมีค่าเท่ากับ ค่าของช่องว่างอากาศรวมกับค่าแอสฟัลต์ประสิทธิภาพ แสดงค่าเป็นร้อยละของปริมาตรทั้งหมดของส่วนผสม

ดังนั้น $VMA = 100 - k$ (2.5)

เมื่อ $VMA = \text{ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (\%)}$

$K = \text{ผลรวมปริมาณวัสดุมวลรวม(\%)}$

ฉ. ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Bituminous, VFB) คือ ส่วนหนึ่งของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวมโดยเป็นส่วนที่แอสฟัลต์ประสิทธิภาพบรรจุอยู่

ดังนั้น $VFB = ((100*j)/VMA)$ (2.6)

เมื่อ $VFB = \text{ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์(\%)}$

$VMA = \text{ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม(\%)}$

บทที่ 3

ขั้นตอนการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต

ในบทนี้จะกล่าวถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ วัสดุที่ใช้ในการออกแบบ ขั้นตอนการเตรียมวัสดุที่ใช้ในการออกแบบ วิธีการออกแบบ และขั้นตอนการออกแบบ กับกำลังของแอสฟัลต์คอนกรีต ก่อนที่จะทำการทดลองต้องมีการเตรียมอุปกรณ์ และวัสดุที่ใช้ให้พร้อม เพื่อที่จะได้ทำการออกแบบ ได้ทันทีและสามารถช่วยทำให้ระยะเวลาการดำเนินงานในการทำโครงการนี้เป็นไปตามแผนการที่วางไว้ อีกทั้งทั้งวัสดุและอุปกรณ์ที่เตรียมไว้จะต้องได้ตามมาตรฐาน และทำการออกแบบตามขั้นตอน จะทำให้ผลการออกแบบ มีประสิทธิภาพ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

- 3.1.1 ตะแกรงช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดช่องผ่านต่างๆ
- 3.1.2 เครื่องชั่ง สามารถชั่งละเอียดได้ถึง 0.2 % ของตัวอย่างทั้งหมด
- 3.1.3 เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส
- 3.1.4 เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) ขนาดต่างๆ
- 3.1.5 แปรงทำความสะอาดตะแกรงชนิดลวดทองเหลือง แปรงพลาสติก และแปรงขน
- 3.1.6 ภาชนะสำหรับใส่แชนและล้างตัวอย่างด้วยมือ
- 3.1.7 Pycnometer เป็นขวดแก้วแบบ Flask
- 3.1.8 กระบอกตวงพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 31.75 มิลลิเมตร สูง 431.80 มิลลิเมตร
- 3.1.9 Irrigator Tube
- 3.1.10 Weighter Foot Assembly
- 3.1.11 Siphon Assembly
- 3.1.12 กระบอกตวง(Measuring Can)ขนาด 85 ± 5 มิลลิเมตร
- 3.1.13 กรวยปากกลม
- 3.1.14 นาฬิกาจับเวลา
- 3.1.15 กระละมังเคลือบ
- 3.1.16 ภาชนะมีขอบสูงประมาณ 15 เซนติเมตร
- 3.1.17 เตาอบที่สามารถให้อุณหภูมิสูงถึง 250 องศาเซลเซียส
- 3.1.18 เตาแบบ Hot Plate ที่สามารถให้อุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส
- 3.1.19 หม้อโลหะ
- 3.1.20 เกรียง

- 3.1.21 เทอร์โมมิเตอร์ชนิดมีก้านเป็นโลหะสามารถให้อุณหภูมิสูงถึง 250 องศาเซลเซียส
- 3.1.22 เครื่องชั่งสามารถชั่งน้ำหนักได้ถึง 2 กิโลกรัม มีความละเอียดถึง 0.1 กรัม
- 3.1.23 แท่นรอง(Compaction Pedestal)
- 3.1.24 แบบสำหรับบดทับ(Compaction Mold)
- 3.1.25 ค้อน(Compaction Hammer)
- 3.1.26 ที่จับแบบ(Mold holder)
- 3.1.27 เครื่องดันตัวอย่าง(Sample Extruder)
- 3.1.28 ถุงมือกันความร้อนชนิดใยหิน(Asbestos)
- 3.1.29 เครื่องทดสอบมาร์แชลล์(Marshall Testing Machine)
- 3.1.30 แบบทดสอบStability(Stability Mold)
- 3.1.31 เครื่องวัดFlow (Flow Meter)

3.2 วัสดุที่ใช้

- 3.2.1 ยางแอสฟัลต์ AC (60/70)
- 3.2.2 หิน

3.3 การเตรียมวัสดุ

3.3.1 ยางแอสฟัลต์ AC (60/70)

ยางแอสฟัลต์(Bituminous Materials) วัสดุที่ใช้ต้องเป็นวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์(Asphalt Cement-AC.) ชนิด 60-70 Penetration Specifications ของแอสฟัลต์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง เวลานำมาใช้ต้องให้อุณหภูมิแก่ยางที่ 150 ± 5 องศาเซลเซียส

แหล่งที่มาของยางแอสฟัลต์ AC (60/70) บริษัทปิโตรแก๊สฟัลด์ อำเภอสรรพยา จังหวัดชลบุรี

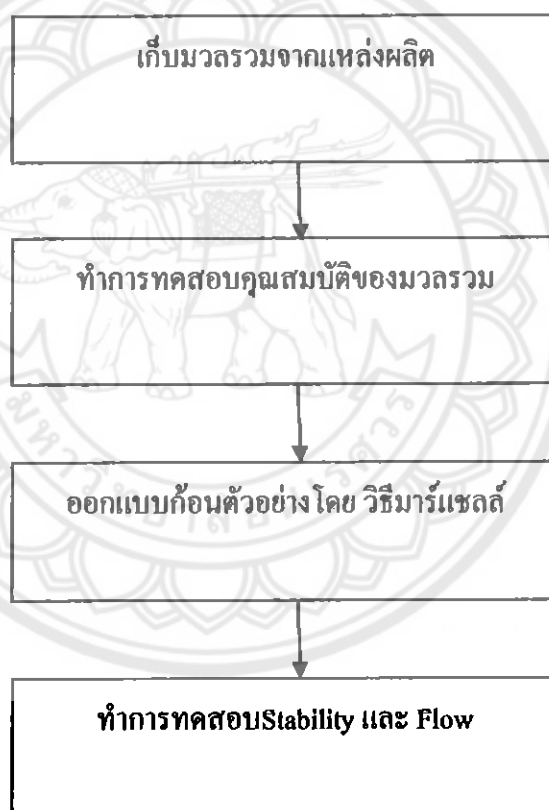
3.3.2 หิน

วัสดุ Aggregate ที่มีขนาดก้างตะแกรงเบอร์ 4 (US. Standard Sieve) เรียกว่า Coarse Aggregate ส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4) เรียกว่า Fine Aggregate เวลานำมาใช้ต้องให้อุณหภูมิแก่หิน ที่อุณหภูมิ 180 ± 5 องศาเซลเซียส

Coarse Aggregate จะต้องเป็นหินย่อย (Crushed Stone) กรวดย่อย (Crushed Gravel) หรือ หินย่อย และกรวดย่อยผสมกันหรืออย่างอื่นอย่างใดที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุ Coarse Aggregate จะต้องสะอาดปราศจากสิ่งสกปรก ดินเหนียว Silt หรือ Organic Matter ผสมหรือปนอยู่จะต้องไม่มีปฏิกิริยากับวัสดุแอสฟัลต์ทำให้คุณภาพของ Asphaltic Concrete เสื่อมเสีย

Fine Aggregate จะต้องเป็นหินฝุ่น หรือทรายที่สะอาดปราศจากสิ่งสกปรก คินเหนียว Silt หรือ Organic Matter ผสมหรือปนอยู่จะต้องไม่มีปฏิกิริยากับวัสดุแอสฟัลต์ทำให้คุณภาพของ Asphaltic Concrete เสื่อมเสีย

การดำเนินโครงการ จะทำการหาความเหมาะสมของวัสดุมวลรวมเพื่อใช้ในการทำแอสฟัลต์คอนกรีต โดยมีขั้นตอนการจัดเตรียมวัสดุมวลรวมและยางแอสฟัลต์อย่างมีระบบ รวมถึงเทคนิคในการทำแอสฟัลต์คอนกรีต และทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบวัสดุทำการวิเคราะห์ข้อดี และข้อเสียของแอสฟัลต์คอนกรีต มีรายละเอียดผังแผนผังแสดงขั้นตอนโครงการ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการ

3.4 การทดสอบวัสดุ

3.4.1 การทดสอบหาขนาดคละผ่านตะแกรงขนาดแบบต่าง

ก. ถ้าตัวอย่างมีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อนต้องทำให้ส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อนแยกจากกันให้หมด แล้วนำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส มวลตัวอย่างแห้งหรือจะหาความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวณหาตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่างเทน้ำหรือน้ำยาลงในภาชนะจนท่วมดินตัวอย่าง แช่ทิ้งไว้ประมาณชั่วโง แล้วนำไปเขย่าประมาณ 10 นาที ขณะเขย่าระวังอย่าให้น้ำกระดกออกจากภาชนะ ถ้าไม่ใช่เครื่องเขย่าควรเข้มน้ำไว้ในภาชนะสำหรับล้างด้วยเครื่องมือาน 3-4 ชั่วโมง เทตัวอย่างลงบนตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.) ถ้าหากมีตัวอย่างขนาดใหญ่ป็นอยู่มาก ควรใช้ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 200 (0.075 มม.) ซ้อนไว้ข้างบนเพื่อลดปริมาณตัวอย่างบนตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.) ใช้น้ำล้างจนไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.) อีกต่อไป แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

ข. นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่างๆตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งแนวราบและแนวตั้งรวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่าจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละชนิดใน 1 นาที ไม่เกิน 1% ของตัวอย่างในตะแกรงนั้นหรือใช้เวลาในการเขย่านานทั้งหมด 15 นาที ถ้าเขย่าเสร็จแล้ว มีตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ต้องไม่มีตัวอย่างซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ต้องมีตัวอย่างค้างตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัมต่อ 1000 ตารางมิลลิเมตร หรือไม่เกิน 200 กรัมสำหรับ ตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) นำตัวอย่างที่ค้างแต่ละขนาดไปชั่ง

3.4.2 การทดสอบหาขนาดของเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ต่าง

ก. ถ้ามีส่วนละเอียดจับกันใหญ่หรือมีส่วนละเอียดจับกันเองเป็นก้อน ต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่หรือส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อนแตกให้หมด ตากหรืออบตัวอย่างให้ผิวแห้ง ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

ข. นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่างๆตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งแนวราบและแนวตั้งรวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่าจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละชนิดใน 1 นาที ไม่เกิน 1% ของตัวอย่างในตะแกรงนั้นหรือใช้เวลาในการเขย่านานทั้งหมด 15 นาที ถ้าเขย่าเสร็จแล้ว มีตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ต้องไม่มีตัวอย่างซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ต้องมีตัวอย่างค้างตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัมต่อ 1000 ตารางมิลลิเมตร หรือไม่เกิน 200 กรัมสำหรับ ตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) ถ้าตัวอย่างค้างบนตะแกรงเกินกว่าที่

กำหนดให้แบ่งตัวอย่างทดสอบสองครั้ง หรือเพิ่มตะแกรงขนาดใหญ่กว่าตะแกรงที่ค้างเกินเข้าไปอีกขนาดหนึ่งนำไปหาตัวอย่างที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละขนาดไปชั่ง

3.4.3 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด

ก. นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้วหนัก 500 กรัม ใส่ลงใน Pycnometer แล้วเติมน้ำลงไปจนได้ปริมาตรประมาณ 450 มิลลิลิตร ทำการไล่ฟองอากาศออกจนหมด โดยการเขย่าและหมุนขวด Pycnometer กลับไปกลับมา แล้วเติมน้ำลงไปจนถึงขีดบอกปริมาตร

ข. ทำการหามวลทั้งหมดของขวด ตัวอย่างวัสดุ น้ำ โดยการชั่ง

3.4.4 การทดสอบหาค่า Sand Equivalent

ก. เติมน้ำสารละลายลงไปในขวดพลาสติกให้สูง 4 ± 0.1 นิ้ว (4 ± 0.1 นิ้ว) โดยผ่าน Irrigator Tube วางกรวยปากกลมบนปากกระบอกตวง แล้วเทจนตัวอย่างจากกระป๋องตวงลงไป ในกระบอกตวง ไล่ฟองอากาศโดยใช้ก้นกระบอกตวงกระแทกกับฝ่ามือจนตัวอย่างเปียกโดยทั่วถึงกัน

ข. ปลดปล่อยให้วัสดุตัวอย่างแช่ทิ้งไว้โดยไม่ถูกรบกวนเป็นเวลา 10 ± 1 นาที แล้วอุดกระบอกตวงด้วยจุกยาง ปิดกระบอกตวงคว่ำไปมาพร้อมเขย่า เพื่อป้องกันมิให้วัสดุตกค้างอยู่ที่ก้นกระบอกตวง

ก. ใช้มือเขย่ากระบอกตวง โดยจับกระบอกตวงด้วยฝ่ามือทั้งสองข้างในแนวราบ ให้ระยะทางเขย่าในแนวราบนี้ยาว 228 ± 25 มิลลิเมตร (9 ± 1 นิ้ว) และให้เขย่า 90 รอบ ในเวลาประมาณ 30 วินาที (การนับจำนวนรอบให้นับจากจุดเริ่มต้นไปแล้วกลับมาที่จุดเริ่มต้นอีกเป็น 1 รอบ)

ง. หลังจากเขย่าตามวิธีข้อค. แล้วนำกระบอกตวงพลาสติกตั้งบนโต๊ะ เอาจุกออก หย่อนปลาย Irrigator Tube ลงไปในกระบอกตวงเปิดให้สารละลายในขวดผ่านออกไปล้างวัสดุที่ติดอยู่ข้างๆ กระบอกตวงนั้น จากขอบบนลงไปค่อยๆ หมุนและดัน Irrigator Tube ผ่านชั้นวัสดุเม็ดหยาบลงไปจนถึงก้นกระบอก วัสดุเม็ดละเอียดจะลอยตัวขึ้นมาเป็นของผสมอยู่เหนือก้อนวัสดุเม็ดหยาบ เมื่อของผสมมีระดับอยู่ที่ 15 ส่วน (15 นิ้ว) ค่อยๆ ยก Irrigator Tube ขึ้น แต่ยังไม่ปล่อยให้สารละลายไหลออกเรื่อยๆ จนเมื่อยก Irrigator Tube ออกจากกระบอกตวง ระดับของผสมในกระบอกตวงต้องอยู่ที่ระดับขีด 15 ส่วน (15 นิ้ว)

จ. ปลดปล่อยกระบอกตวงทิ้งไว้โดยไม่ให้ถูกรบกวนอีก 20 นาที นับเวลาหลังจากเอา Irrigator Tube ออก จะเห็นดินเหนียวลอยอยู่โดยแยกเป็นชั้นอย่างชัดเจน อ่านค่าระดับชั้น

บนสุดของดินเหนียวบนกระบอกดวงเป็นค่า Clay Reading ถ้าในระยะเวลา 20 นาที ดินเหนียวยังคงตะกอนไม่หมด โดยยังไม่เห็นเป็นชั้นแยกอย่างชัดเจนให้ขีดเวลาออกไปแต่ไม่ควรเกิน 30 นาที ถ้าเวลามากกว่า 30 นาที ยังไม่มีการแยกเห็นได้อย่างชัดเจนให้ทำการทดลองใหม่ โดยใช้ อีก 3 ตัวอย่าง และใช้ค่า Clay Reading ของตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาตกตะกอนที่สั้นที่สุด

ฉ. หาค่า Sand Reading ได้จากการนำเอา Weighted Foot Assembly ค่อยๆหย่อนลงในกระบอกดวง ไปวางบนวัสดุหยาบหรือทราย อ่านค่าบนกระบอกดวงระดับบนสุดของ Indicator แล้วลบด้วย 10 จะได้ค่า Sand Reading

ช. ค่าของ Clay Reading และ Sand Reading ให้ใช้ทศนิยมเพียง 1 ตำแหน่งเท่านั้น ในกรณีที่อ่านทศนิยมได้มากกว่า 1 ตำแหน่ง ให้ปัดไปในด้านมากจนเหลือทศนิยม 1 ตำแหน่ง เช่น อ่านได้ 3.22 ให้ใช้เป็น 3.3

3.4.5 การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลล์

ก. นำกะละมังใส่ตัวอย่างวัสดุ Aggregate ออกจากเตาอบ แล้วเทวัสดุลงในภาชนะสำหรับผสมวัสดุ Aggregate กับแอสฟัลต์ ใช้เครื่องผสมวัสดุ Aggregate แต่ละขนาดกลั่นให้ทั่ว ทั้งไว้ให้อุณหภูมิของ Aggregate ลดลงถึง 140 ± 5 องศาเซลเซียส

ข. นำภาชนะโลหะที่ได้จากข้อ 2.5.1 ขึ้นตั้งบน Hot Plate ใช้เครื่องผสมวัสดุ Aggregate และแอสฟัลต์ให้เข้ากันโดยเร็วที่สุด โดยปกติประมาณ 1 นาที พยายามให้แอสฟัลต์เคลือบวัสดุทุกเม็ด

ค. นำแบบสำหรับบดทับจากข้อ 2.4.7 มาประกอบเข้าที่

ง. เทตัวอย่างวัสดุผสมลงในแบบที่ประกอบแล้ว ใช้เกรียงแซะรอบๆตัวอย่างข้างในแบบ ประมาณ 15 ครั้ง และแซะเข้าในตัวอย่างอีก 10 ครั้ง ทั้งไว้ให้อุณหภูมิของตัวอย่างลดลงที่อุณหภูมิเมื่อแอสฟัลต์มี Viscosity เท่ากับ $140 + 15$ Second Saybolt Furol (สำหรับแอสฟัลต์ AC 80-100 ทั้งไว้ให้อุณหภูมิลดลง 140 ± 5 องศาเซลเซียส)

จ. วางก้อนลงบนตัวอย่างในแบบ ทำการบดทับตัวอย่างโดยการยกน้ำหนักและการปล่อยให้น้ำหนักตกลงบนแผ่นเหล็ก จำนวนครั้งขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบซึ่งแบ่งออกเป็น

แอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรชั้น light traffic และ medium traffic
จำนวนครั้งใช้ 50 ครั้ง

แอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรชั้น heavy traffic และ very heavy traffic
จำนวนครั้งใช้ 75 ครั้ง

ฉ. เมื่อครบจำนวนบดทับแล้ว ทำการกลับตัวอย่างโดยการกลับแบบ เอาด้านล่างขึ้นด้านบน แล้วทำการบดทับ

ข. ทิ้งตัวอย่างที่บดทับเรียบรื้อแล้วไว้ในแบบ จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างลดลงมากกว่า 60 องศาเซลเซียส จึงนำตัวอย่างออกจากแบบ โดยการใช้เครื่องดันตัวอย่าง ทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศธรรมดาไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง จึงนำไปทดลองขั้นต่อไป

ข. ในปริมาณของการผสมโดยใช้แอสฟัลต์เปอร์เซ็นต์อื่นใดอันหนึ่ง ให้เตรียมตัวอย่างอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง สำหรับการออกแบบให้ใช้ตัวอย่างแต่ละเปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลต์อย่างน้อย 5 ค่า และต่างกัน 0.5%

3.4.6 ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบหาความแน่น

ก. นำตัวอย่างไปชั่งในอากาศ

ข. นำตัวอย่างไปแช่ในน้ำธรรมดาประมาณ 5 นาที แล้วนำตัวอย่างขึ้นจากนั้นนำมาเช็ดให้แห้ง ชั่งหาน้ำหนักในอากาศ

ค. นำตัวอย่างจากข้อ ข. ไปชั่งหาน้ำหนักในน้ำ

การทดสอบหาค่า Stability และ Flow

ก. นำตัวอย่างที่เสร็จจากการทดลองหาความหนาแน่น แล้วนำไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในอ่างคัมน์น้ำ

ข. เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างขึ้นจากอ่างคัมน์น้ำ เช็ดให้แห้งแล้วนำไปใส่ในแบบทดลอง Stability เพื่อไปทดสอบค่า Stability และ Flow

ค. นำไปทดลอง Stability ที่ได้จาก ข้อ ข. ไปวางบนเครื่องทดสอบมาร์แชลล์ให้แบบทดลอง Stability อยู่ใต้ท่อนกด (Piston) ซึ่งติดกับ Proving Ring สำหรับอ่านน้ำหนักกด

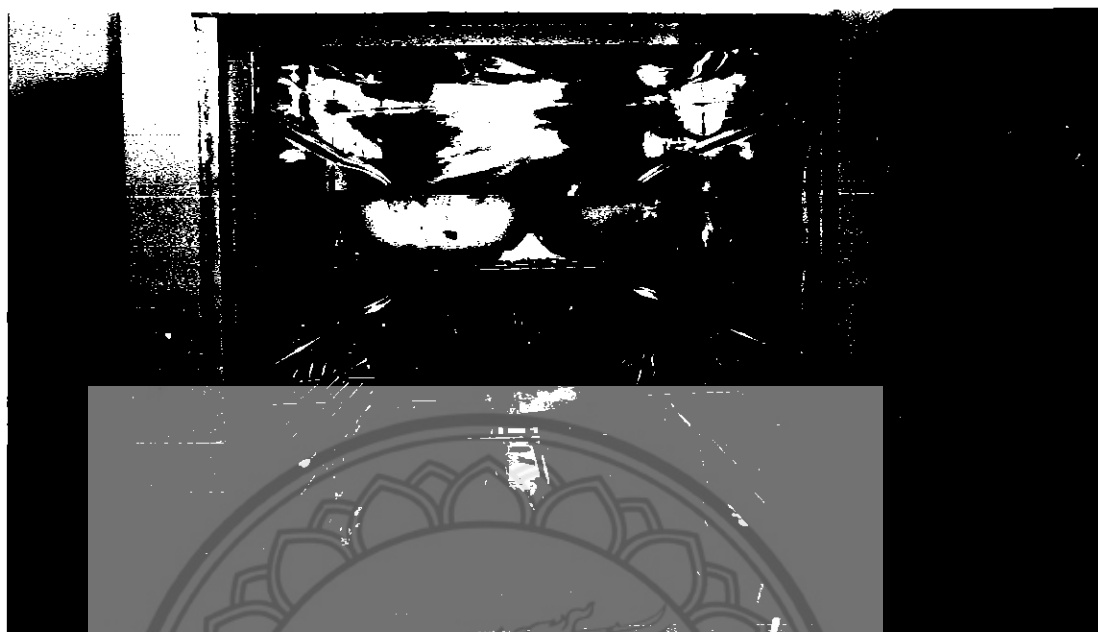
ง. เดินเครื่องให้ทดลองแบบ Stability เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับท่อนกดจนกระทั่งเข็มของ Proving Ring ขยับตัว หยุดเครื่องทำการตั้งเข็มของ Dial Gauge ที่เลข 0

จ. นำเครื่องวัด Flow ไปวางแทนที่ใช้สำหรับทดลองหาค่า Flow ซึ่งติดกับแบบทดลอง Stability ตั้งเข็ม Dial Gauge ของเครื่องวัด Flow ให้อยู่ที่เลข 0 ใช้มือจับเครื่องวัด Flow ให้นิ่งอยู่กับที่

ฉ. เดินเครื่องให้กดเพื่อทดลองหาค่า Stability โดยอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดที่กดจาก Proving Ring เป็นค่าที่อ่านได้ (measured) ซึ่งต้องแก้ไข (Adjust) สำหรับตัวอย่างมาตรฐานที่หนา 6.35 เซนติเมตร (2.5 นิ้ว)

ช. ขณะที่ทำการทดลองหาค่า Stability เข็ม Dial Gauge ของเครื่องวัด Flow จะเคลื่อนที่อ่านค่า Flow จาก Dial Gauge ที่น้ำหนักกดสูงสุด

3.5 ภาพแสดงขั้นตอนการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลล์



รูปที่ 3.2 การอบวัสดุรวม

นำกะละมังที่บรรจุวัสดุ Aggregate ใส่ในเตาอบจน Aggregate มีอุณหภูมิ 180 ± 5 องศาเซลเซียส



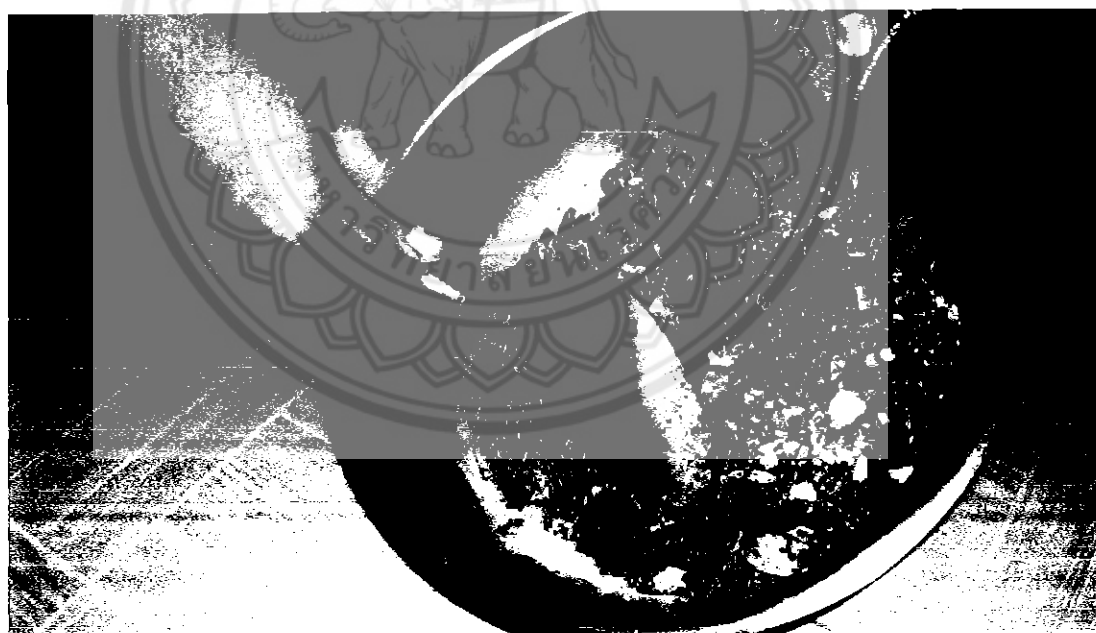
รูปที่ 3.3 การให้ความร้อนกับแบบหล่อ

นำแบบหล่อวางบน Hot Plate ให้มีอุณหภูมิ 140 ± 5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.4 การให้ความร้อนกับยางแอสฟัลต์ AC(60-70)

นำยางแอสฟัลต์ AC(60-70)วางบน Hot Plate ให้มีอุณหภูมิ 140 ± 5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.5 การผสมมวลรวมกับวัสดุแอสฟัลต์ AC(60-70)

ผสมมวลรวมกับวัสดุแอสฟัลต์ AC(60-70) ในภาชนะสำหรับใช้ผสมวัสดุมวลรวม กับ
แอสฟัลต์ ใช้เกรียงคนให้ทั่ว ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของ Aggregate ลดลงถึง 140 ± 5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ในการทำหน้ากากอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต



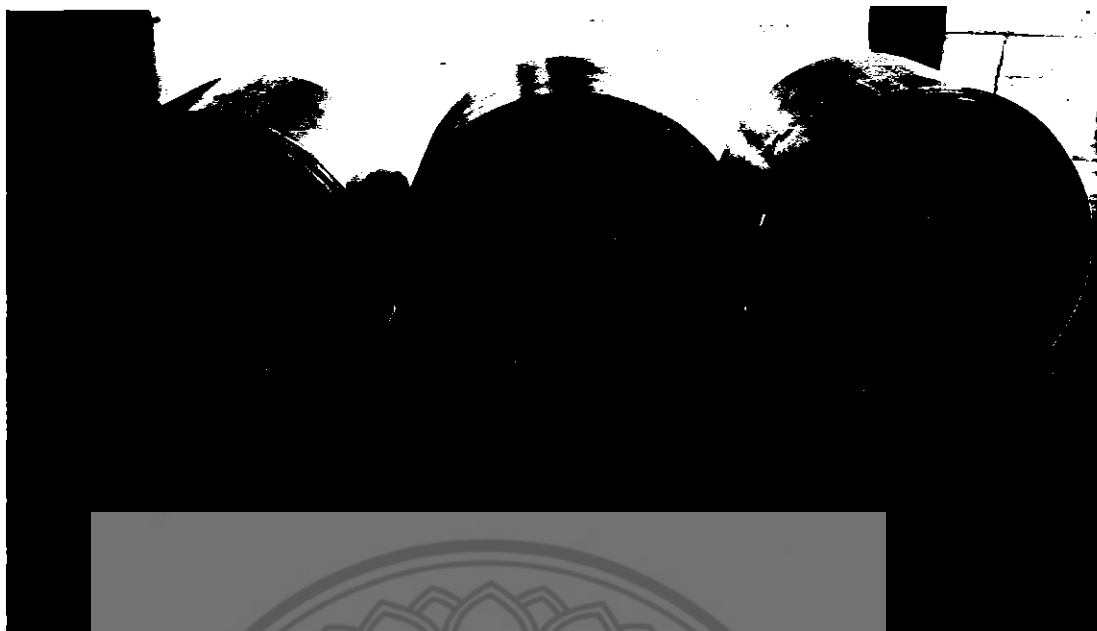
รูปที่ 3.7 การเทตัวอย่างที่ผสมเข้ากันแล้วลงแบบที่เตรียมไว้



รูปที่ 3.8 การเตรียมตัวอย่างก่อนตำ
ใช้เกรียงแซะรอบๆตัวอย่างภายในแบบประมาณ 15 ครั้ง และแซะในตัวอย่าง 10 ครั้ง



รูปที่ 3.9 การดำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต
ทำการบดทับตัวอย่างโดยการยกน้ำหนักและการปล่อยให้น้ำหนักตกลงบนแบบหล่อ
จำนวน 75 ครั้ง(การจรรยาบรรณแน่น)



รูปที่ 3.10 ลักษณะก้อนตัวอย่างขณะที่ยังอยู่ในแบบหล่อ
ทิ้งตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.11 การคั่นก้อนตัวอย่างออกจากแบบหล่อ
คั่นก้อนตัวอย่างออกจากแบบหลังทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องคั่นก้อนตัวอย่าง

3.6 ภาพแสดงขั้นตอนการทดสอบเสถียรภาพและการไหล



รูปที่ 3.12 การให้ความร้อนกับก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต
นำตัวอย่างที่ผ่านการทดลองหาความหนาแน่นแล้ว แช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 60 ± 1 องศา
เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 3.13 การทดสอบค่า Stability และค่า Flow
เขี่ยก้อนตัวอย่างให้แห้งแล้วนำไปทดสอบหาค่า Stability และค่า Flow

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ในบทนี้เป็นการแสดงผลที่ได้จากการทดลองตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 เพื่อนำมาศึกษาออกแบบโครงสร้างชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลล์

4.1 ค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวม (Aggregates)

ค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวม (Aggregates) ที่นำมาทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ซึ่งรายละเอียดของการคำนวณได้ให้ไว้ในภาคผนวก

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวม (Aggregates) ของหินฝุ่น และหินขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว, $\frac{1}{2}$ นิ้ว, $\frac{3}{4}$ นิ้ว

ขนาดหิน	หินฝุ่น	$\frac{3}{8}$ นิ้ว	$\frac{1}{2}$ นิ้ว	$\frac{3}{4}$ นิ้ว
คุณสมบัติของหิน	หินฝุ่น	$\frac{3}{8}$ นิ้ว	$\frac{1}{2}$ นิ้ว	$\frac{3}{4}$ นิ้ว
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.678	2.704	2.781	2.723
เปอร์เซ็นต์การดูดซึม	0.96	0.76	0.18	0.40

4.2 ค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของยางแอสฟัลต์ AC(60/70)

ค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของยางแอสฟัลต์ AC(60/70) ที่กำหนดมาพร้อมกับยางแอสฟัลต์ AC(60/70) จากบริษัทปิโตรไทยแอสฟัลต์ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมยางแอสฟัลต์ AC(60/70)

คุณสมบัติของยางแอสฟัลต์ AC(60/70)	ยางแอสฟัลต์ AC(60/70)
ค่าความถ่วงจำเพาะ	1.02
เปอร์เซ็นต์การดูดซึม	0.25

156/9263

2/5.

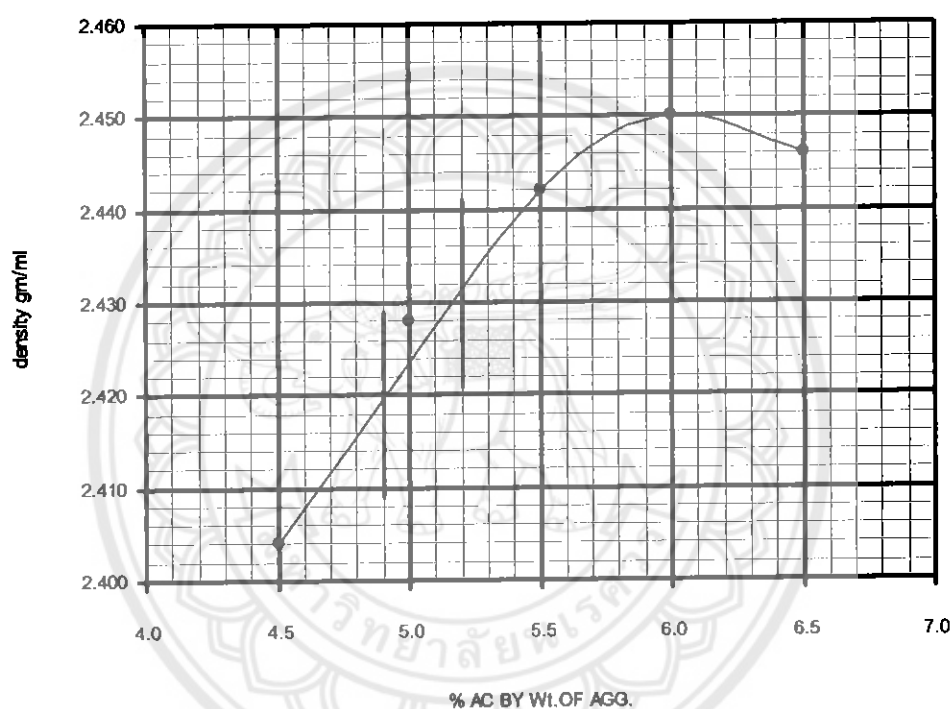
ณ 229 น

2553

4.3 การทดสอบความหนาแน่น

ผลที่ได้จากการทดสอบความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีต สามารถนำมาใช้แสดงความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่มีค่าของเปอร์เซ็นต์ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) ที่เปลี่ยนไป คือ ที่ 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 และ 6.5 %

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก



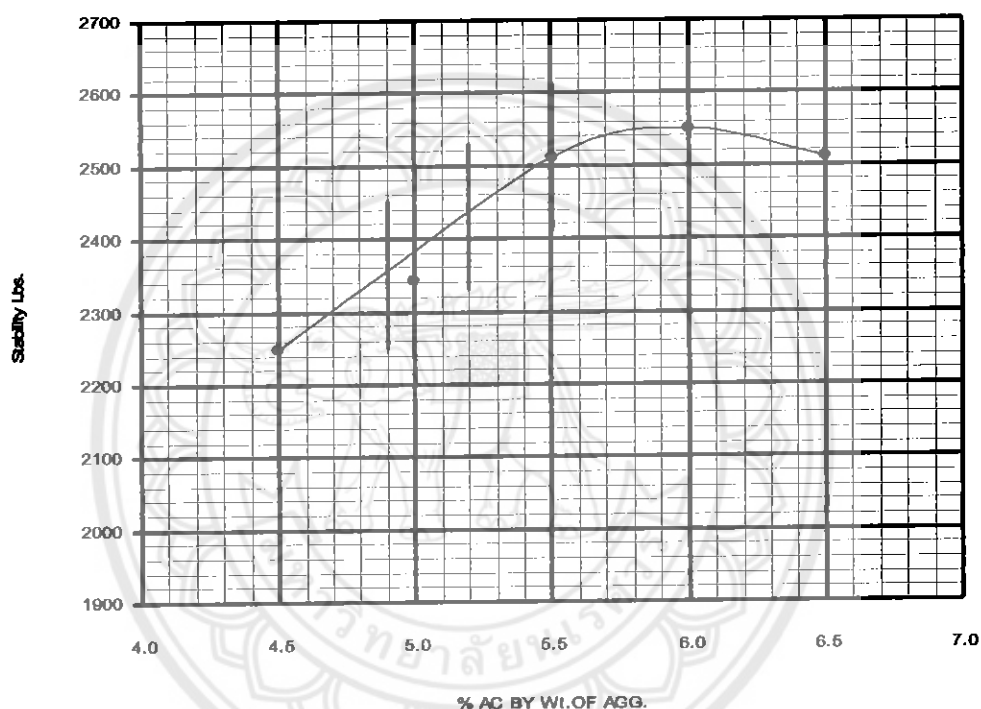
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนักพบว่า ปริมาณยางแอสฟัลต์โดยน้ำหนักมีผลต่อค่าความหนาแน่น (Density) เมื่อเพิ่มปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) ค่าความหนาแน่น (Density) ก็จะมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) ถึงจุดๆหนึ่ง ค่าความหนาแน่น (Density) จะลดลง นั่นแสดงว่า ปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) ที่เราจะเลือกพิจารณาออกแบบมีค่าอยู่ทางด้านซ้ายของกราฟ เพราะการออกแบบโครงสร้างชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ดีไม่ควรออกแบบให้มีค่าความหนาแน่นมากเกินไป เพราะจะทำให้ผิวทางเกิดความเสียหาย แฉก ร้าว

4.4 การทดสอบความเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต

ผลที่ได้จากการทดสอบความเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต สามารถนำมาใช้แสดงความสัมพันธ์ของค่าความเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่มีค่าของเปอร์เซ็นต์ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) ที่เปลี่ยนไป คือ ที่ 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 และ 6.5 %

4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพ กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพ กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก

จากความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเสถียรภาพ กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์

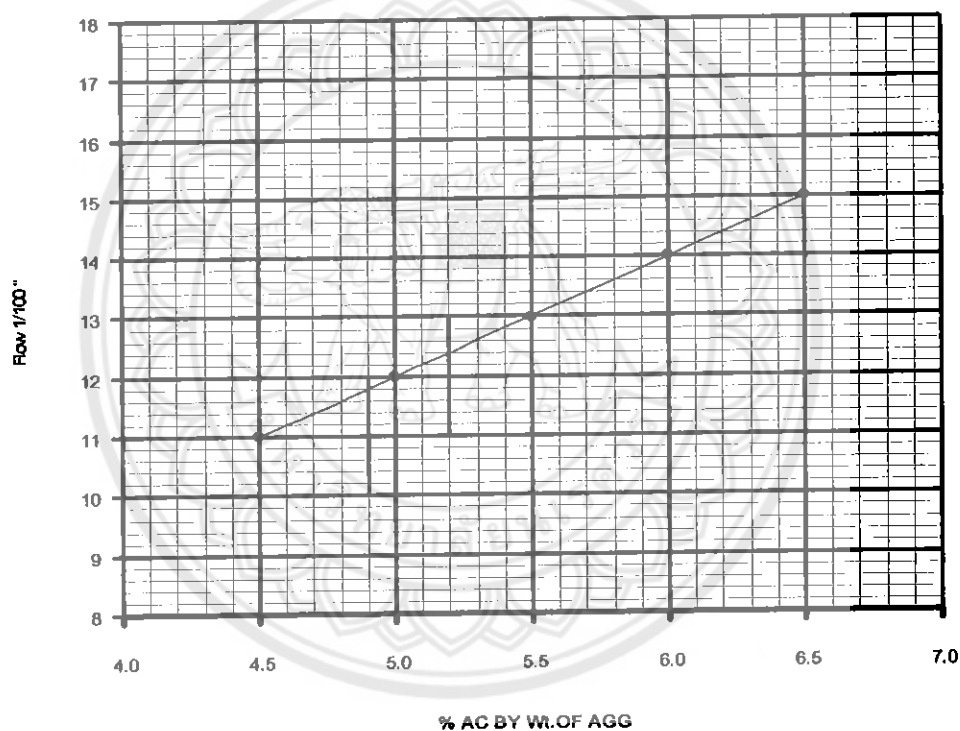
AC (60/70) โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณยางแอสฟัลต์โดยน้ำหนักมีผลต่อค่าความเสถียรภาพ (Stability) เมื่อเพิ่มปริมาณยางแอสฟัลต์ AC(60/70) ค่าความเสถียรภาพ(Stability) ก็จะมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณยางแอสฟัลต์ AC(60/70) จนถึงจุดๆหนึ่ง ค่าความเสถียรภาพ(Stability) จะลดลง นั่นแสดงว่า การเพิ่มปริมาณยางแอสฟัลต์ AC(60/70) จะทำให้อนุภาคของมวลรวมมีค่าแรงบีดเกาะเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก (Stability) เพิ่มขึ้นด้วย หากเพิ่มปริมาณยางแอสฟัลต์ AC(60/70) จนถึงค่าๆหนึ่ง จะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบอนุภาคของมวลรวมหนาเกินไป เป็นผลให้ความเสียดทานระหว่างอนุภาคของมวลรวมมีค่าลดลง จึงทำให้เสถียรภาพของส่วนผสม

แอสฟัลต์คอนกรีตลดลงด้วย ซึ่งการใช้ปริมาณยางแอสฟัลต์ AC(60/70) ที่สูงเกินไปจะเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดคลื่นลูกกระนาบ เกิดร่องล้อ หรือทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าถนน

4.5 การทดสอบค่าการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต

ผลที่ได้จากการทดสอบค่าการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต สามารถนำมาใช้แสดงความสัมพันธ์ของค่าการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่าของเปอร์เซ็นต์ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) ที่เปลี่ยนไป คือ ที่ 4.5, 5.0 , 5.5, 6.0 และ 6.5 %

4.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหล กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70)

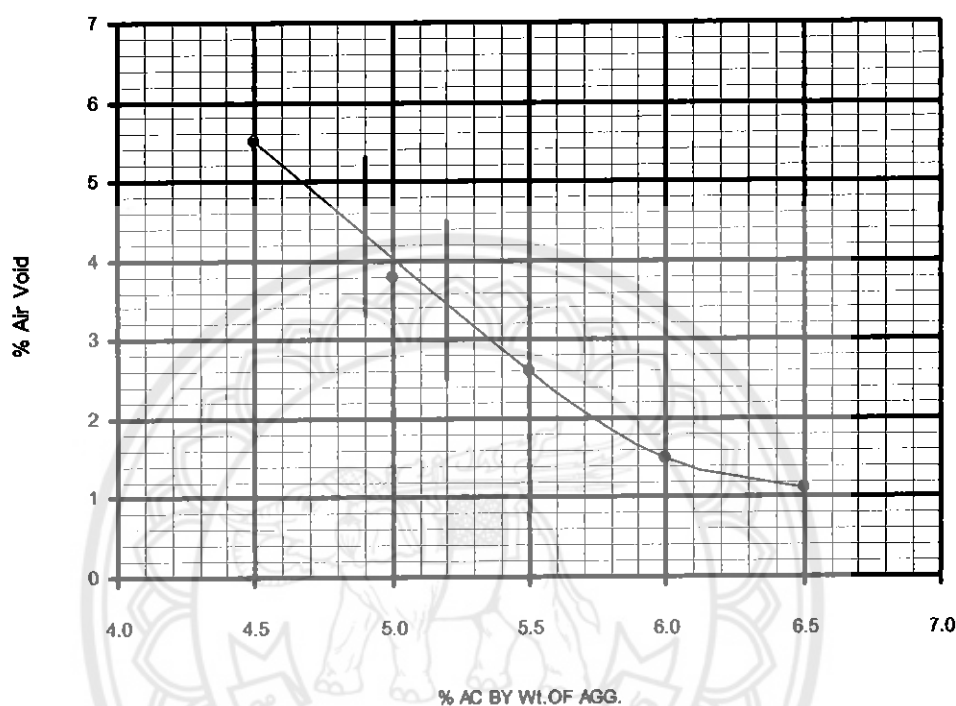


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหล กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหล กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก พบว่า ค่า Flow จะสูงขึ้นตามปริมาณยางที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าหากออกแบบส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตให้มีปริมาณยางมาก แอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้ก็จะมีความสามารถในการไหลสูง

4.6 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการคำนวณ

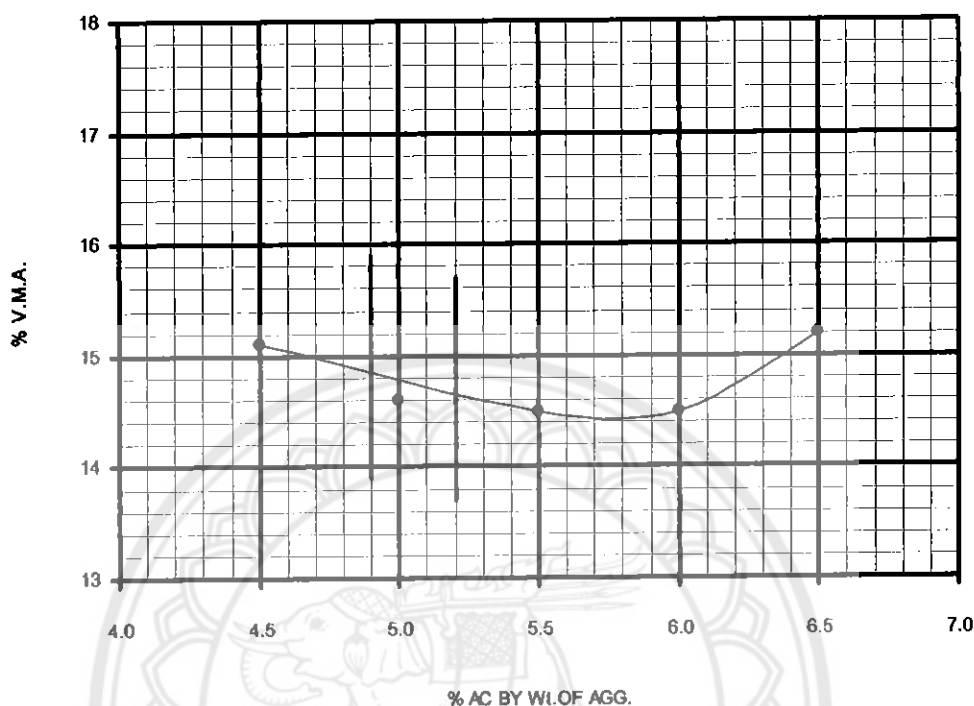
4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนักพบว่า ค่า % Air Void กับค่า ปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก จะแปรผกผันกัน การออกแบบในที่นี้ เราใช้ ปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) ที่ 5% AC โดยน้ำหนัก ได้ค่า ร้อยละของช่องว่างอากาศ (% Air Void) เท่ากับ 3.8 เนื่องจาก ช่องว่างอากาศ (Air Void) ของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ช่องว่างเล็กๆ ที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่เคลือบด้วยแอสฟัลต์ ทำหน้าที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้รับการบดอัดแล้วจะต้องมีช่องว่างอากาศที่เพียงพอ สำหรับผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 3 – 5 ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหนักรวมของยานพาหนะที่แล่นบนผิวทาง ถ้าปริมาณช่องว่างอากาศของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ก่อสร้างเสร็จใหม่ไม่เพียงพอ จะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าของถนน

4.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก



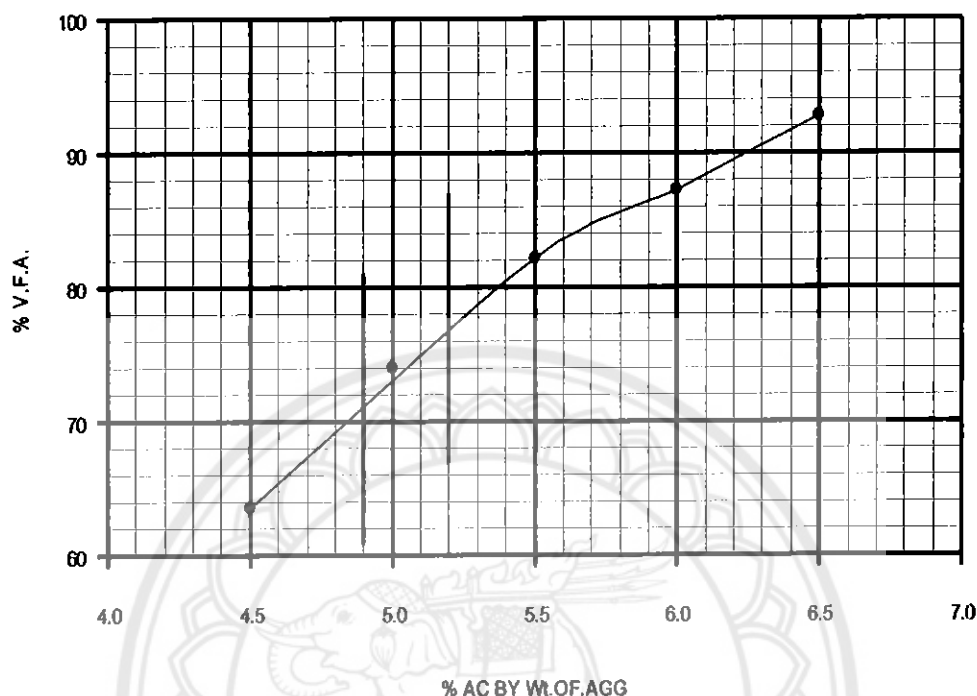
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก พบว่า กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นรูปตัวยู มีค่าลดลงจนถึงค่าต่ำสุดแล้วจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอสฟัลต์มากขึ้นเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 เนื่องจาก ปริมาตรทั้งหมดของส่วนผสมจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณแอสฟัลต์มีค่าเปลี่ยนไป

เมื่อปริมาณแอสฟัลต์เพิ่มมากขึ้น ค่า V.M.A. ก็จะเริ่มเพิ่มค่าขึ้นด้วยเพราะว่า มวลรวมจะถูกแทนที่และถูกผลักดันให้อนุภาคแต่ละก้อนห่างออกจากกันด้วย ในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต จึงไม่ควรใช้ปริมาณยางแอสฟัลต์ในช่วงที่เพิ่มค่าขึ้นทางด้านขวา เพราะจะมีแนวโน้มว่าส่วนผสมที่ได้จะเป็นส่วนผสมที่แฉะ ก่อให้เกิดร่องล้อและคลื่นบนผิวทาง

การออกแบบในที่นี้จึงใช้ปริมาณยางที่ 5% AC โดยน้ำหนัก ได้ % V.M.A. เท่ากับ 14.6 ซึ่งถือว่าไม่มากและไม่น้อยจนเกินไป

4.6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยยาง AC(60/70) กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยยาง AC(60/70) กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยยาง AC(60/70) กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก พบว่า %VMA มีค่ามากขึ้นตามปริมาณยางที่เพิ่มสูงขึ้น แสดงว่า การเพิ่มปริมาณยางในส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต มีผลทำให้ปริมาณยางแอสฟัลต์ที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตาม ค่า VFA จะช่วยเพิ่มองค์ประกอบด้านความปลอดภัยต่อกระบวนการของการออกแบบและการก่อสร้างในแง่ของสมรรถภาพ

บทที่ 5

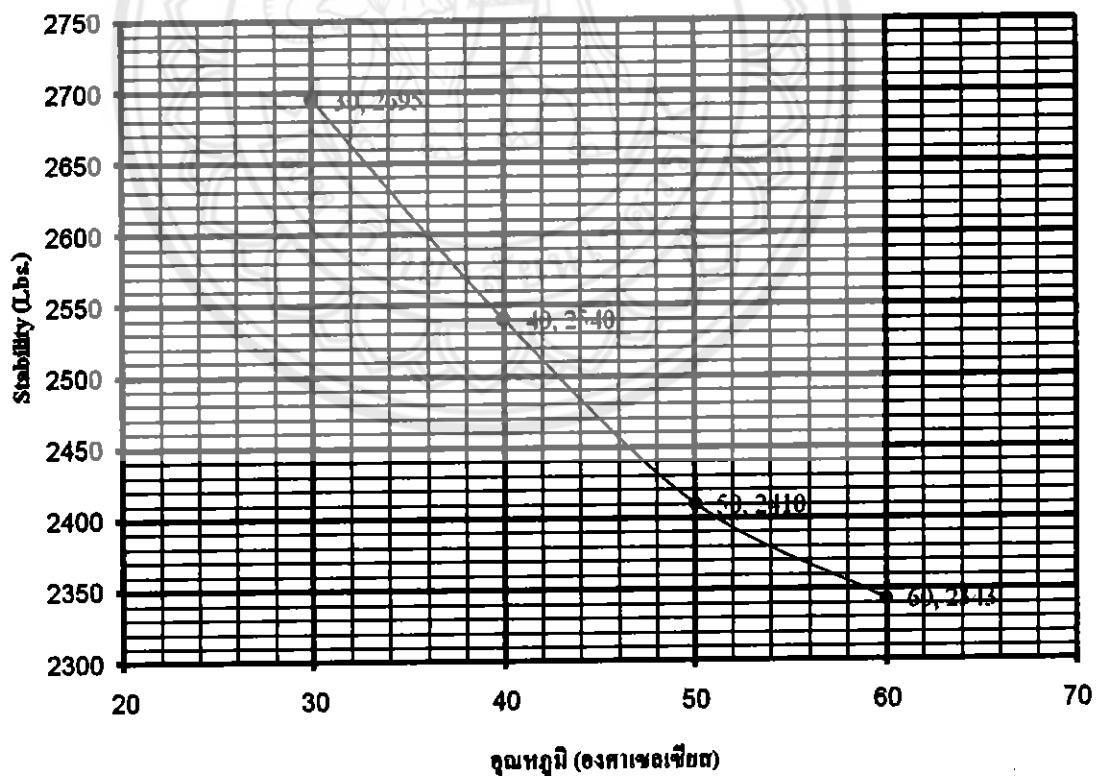
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึง ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อค่าเสถียรภาพ(Stability) และค่าการไหล (Flow) ของแอสฟัลต์คอนกรีต และได้เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับค่าเสถียรภาพ (Stability) และค่าการไหล(Flow) ระหว่าง Asphalt Concrete และ Recycling Asphalt Concrete

5.1 บทสรุป

จากผลสอบค่าเสถียรภาพ(Stability) และค่าการไหล(Flow) ของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศา โดยใช้ปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) ที่ 5 % โดยน้ำหนัก ได้กราฟ ความสัมพันธ์ดังนี้

5.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าเสถียรภาพ(Stability)



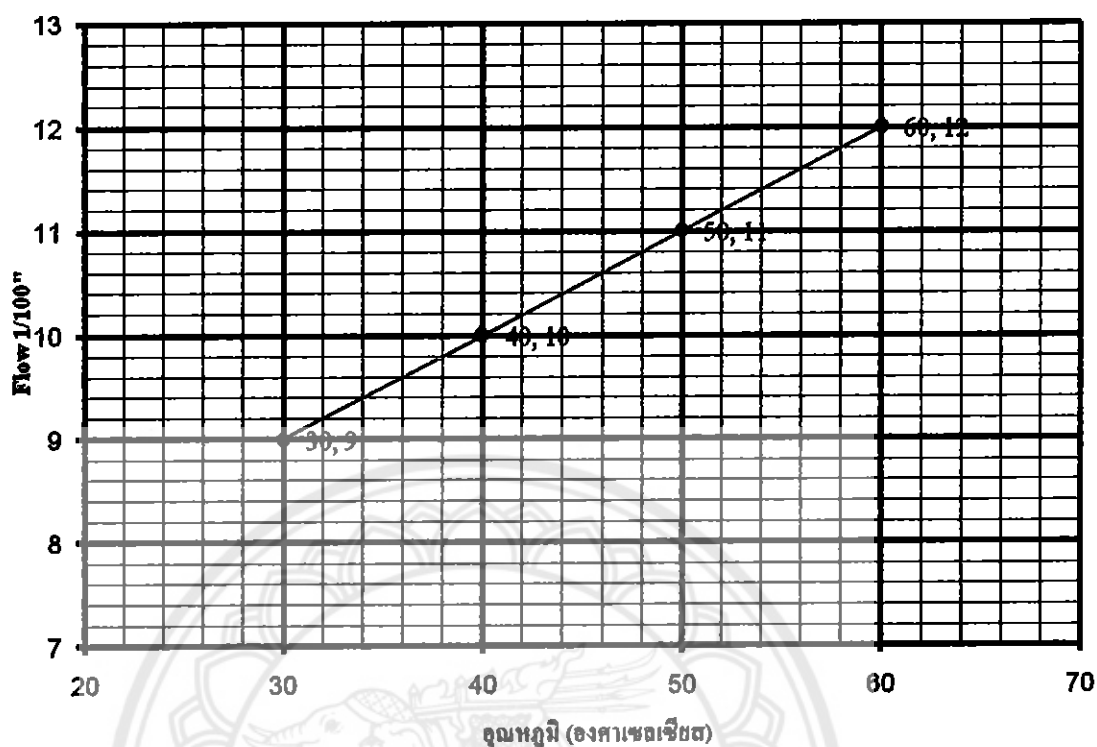
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าเสถียรภาพ(Stability)

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพ กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

อุณหภูมิ	ค่าเสถียรภาพ (Lbs.)	ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไป (Lbs.)	%ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไป	%ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไปต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส
30	2,695			
		155	5.75	0.58
40	2,540			
		130	5.12	0.51
50	2,410			
		67	2.78	0.27
60	2,343			

จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าเสถียรภาพ (Stability) พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าเสถียรภาพจะลดลง คือ ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศา ค่าเสถียรภาพมีค่าเป็น 2,695 2,540 2,410 และ 2,343 Lbs. ตามลำดับ ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไปของแต่ละช่วงอุณหภูมิ คิดเป็น 5.75%, 5.12% และ 2.78% ของการเปลี่ยนแปลงของค่าเสถียรภาพทั้งหมด เปอร์เซ็นต์ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไปต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสคิดเป็น 0.45% (11.73 Lbs.) แสดงว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบอนุภาคของมวลรวมเหลวขึ้น ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะกันของอนุภาคของมวลรวมลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก (Stability) ลดลง

5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล(Flow)



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล(Flow)

ตารางที่ 5.2 ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหล กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

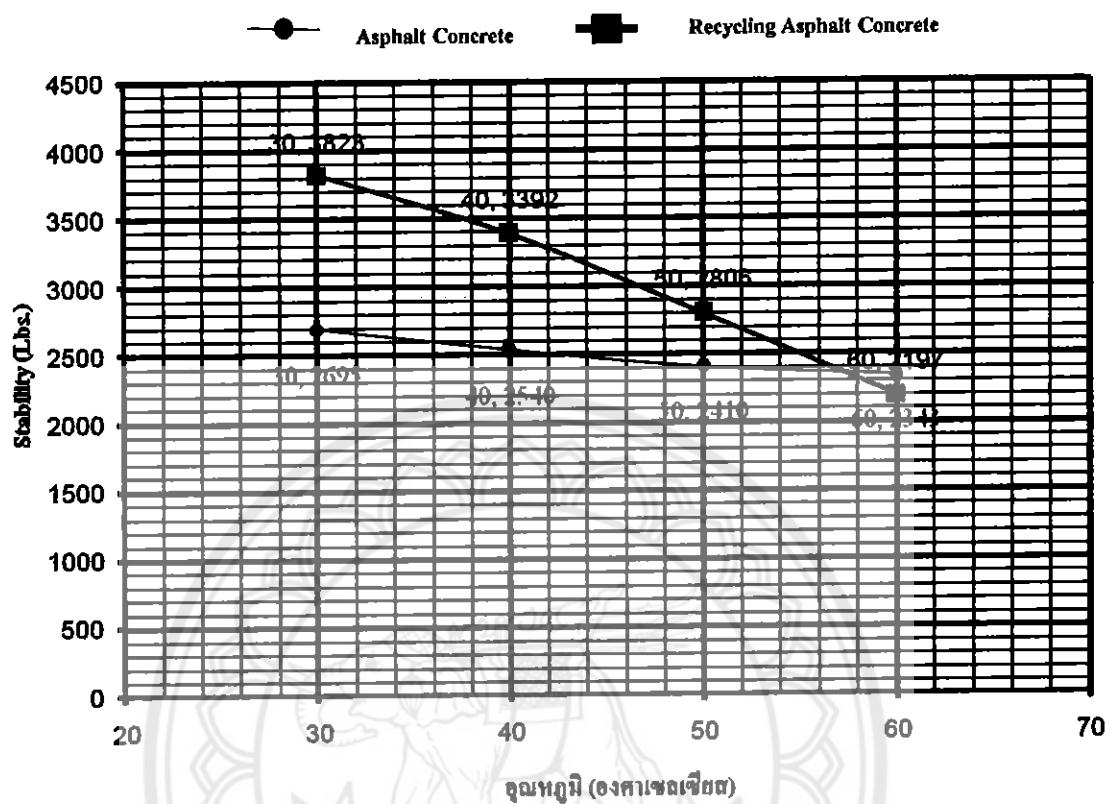
อุณหภูมิ	ค่าการไหล (1/100"Flow)	ค่าการไหลที่ เปลี่ยนไป (1/100" Flow)	%ค่าการไหลที่ เปลี่ยนไป	%ค่าการไหลที่ เปลี่ยนไปต่อการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส
30	9			
		1	10	1
40	10			
		1	9.09	0.91
50	11			
		1	8.33	0.83
60	12			

จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าความสามารถในการไหล (Flow) พบว่า ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศา ค่าการไหลมีค่าเป็น 9, 10, 11 และ 1/ (1/100" Flow) ตามลำดับ ค่าการไหลที่เปลี่ยนไปของแต่ละช่วงอุณหภูมิจึงเป็น 10%, 9.09% และ 8.33% ของการเปลี่ยนแปลงของค่าเสถียรภาพทั้งหมด เปอร์เซ็นต์ค่าการไหลที่เปลี่ยนไปต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส คิดเป็น 0.91% (0.1 (1/100" Flow)) แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความสามารถในการไหลก็จะเพิ่มขึ้น อาจเป็นไปได้ว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบอนุภาคของมวลรวมเหลวขึ้น ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะกันของอนุภาคของมวลรวมลดลง เมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุก แอสฟัลต์คอนกรีตจึงเกิดการถล่มได้ง่าย เนื่องจากมีความสามารถในการไหลสูง

ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ในการทดสอบค่าการไหล กำหนดให้ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 8 – 14 (1/100" Flow) แอสฟัลต์คอนกรีตที่ออกแบบจึงจะนำไปใช้งานได้ แสดงว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ออกแบบ สามารถนำไปใช้งานได้จริงกับพื้นที่ ที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 30 – 60 องศา



5.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าเสถียรภาพ(Stability) ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete



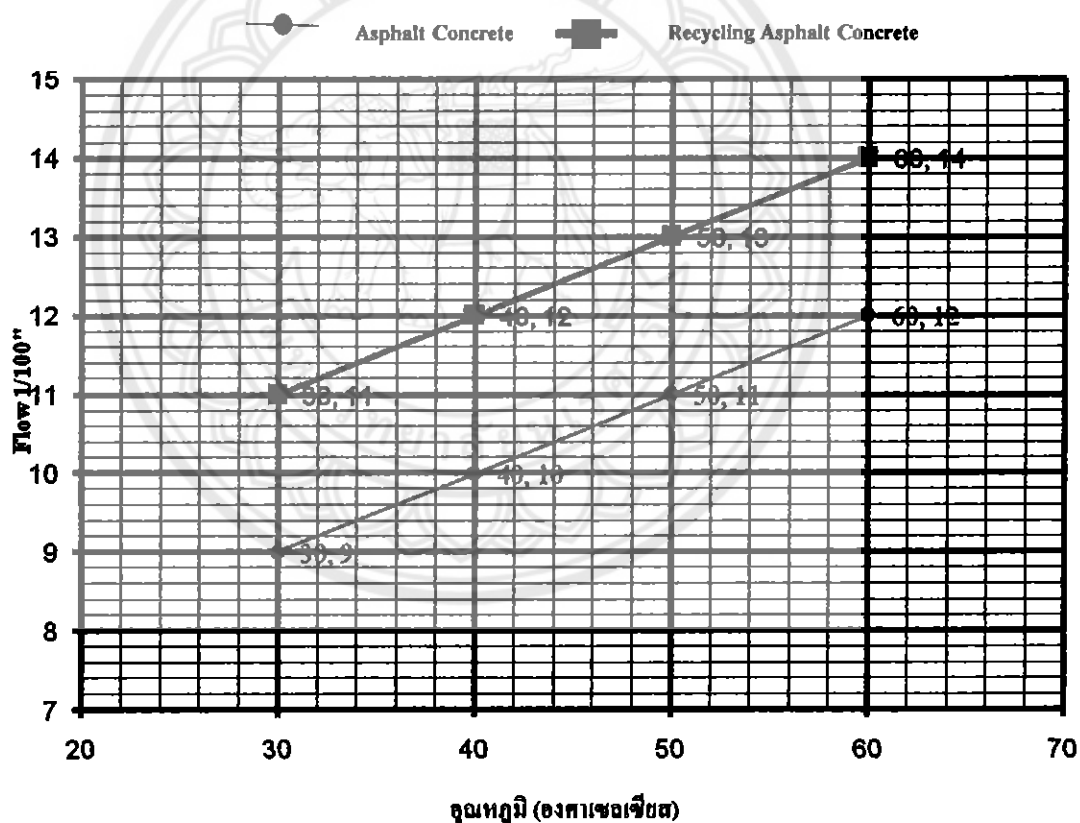
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าเสถียรภาพ(Stability) ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete

ตารางที่ 5.3 ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าเสถียรภาพ(Stability) ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete

อุณหภูมิ	ค่าเสถียรภาพของ Asphalt Concrete (Lbs.)	%ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไป	ค่าเสถียรภาพของ Recycling Asphalt Concrete (Lbs.)	%ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไป
30	2,695		3,823	
40	2,540	5.75	3,392	11.27
50	2,410	5.12	2,806	17.28
60	2,343	2.78	2,197	21.70

จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าเสถียรภาพ(Stability) ของ Asphalt Concrete และ Recycling Asphalt Concrete พบว่า เปอร์เซนต์ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไปของ Recycling Asphalt Concrete มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่ในทางกลับกันหากอุณหภูมิสูงขึ้น เปอร์เซนต์ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไปของ Asphalt Concrete จะมีค่าลดลง แสดงว่า Slope ความลาดชันของ Recycling Asphalt Concrete มากกว่า Asphalt Concrete อุณหภูมิช่วง 30 – 57 องศา ค่าเสถียรภาพของ Recycling Asphalt Concrete มากกว่า Asphalt Concrete เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 57 องศา ค่าเสถียรภาพของ Recycling Asphalt Concrete น้อยกว่า Asphalt Concrete

5.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล(Flow) ของ Asphalt Concrete และ Recycling Asphalt Concrete



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล(Flow) ของ Asphalt Concrete และ Recycling Asphalt Concrete

ตารางที่ 5.4 ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล(Flow) ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete

อุณหภูมิ	ค่าการไหลของ Asphalt Concrete (1/100" Flow)	%ค่าการไหล ที่เปลี่ยนไป	ค่าการไหลของ Recycling Asphalt Concrete (1/100" Flow)	%ค่าการไหล ที่เปลี่ยนไป
30	9		11	
40	10	10	12	8.33
50	11	9.09	13	7.69
60	12	8.33	14	7.14

จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล(Flow)ของ Asphalt Concrete และ Recycling Asphalt Concrete พบว่าหากอุณหภูมิสูงขึ้น เปอร์เซนต์ค่าการไหลที่เปลี่ยนไปจะมีค่าลดลงเหมือนกัน แสดงว่า Asphalt Concrete และ Recycling Asphalt Concrete มีSlop ความลาดชันเท่ากัน แต่ค่าการไหลของ Recycling Asphalt Concrete มากกว่า Asphalt Concrete

Recycling Asphalt Concrete เป็นการนำ Asphalt Concrete ที่มีอยู่เดิมกลับมาใช้ใหม่ จึงมีความทนทานต่ออุณหภูมิน้อยกว่าเมื่อเปิดใช้งานถนน Recycling Asphalt Concrete จะมีอายุการใช้งานน้อยกว่า Asphalt Concrete

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1. การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง
- 5.2.2. ควรทำการทดสอบค่า คุณสมบัติด้านความแข็งแรงและความกล้า

บรรณานุกรม

วัชรินทร์ วิทยกุล. การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อนวิธีมาร์แชลล์. พิมพ์ครั้งที่ 1
กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544.

กรมทางหลวง. รายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง. กรุงเทพมหานคร:
กรมทางหลวง, 2535.

สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง. มาตรฐานวิธีการทดลอง. กรุงเทพมหานคร:
กรมทางหลวง, 2541.

เมธี บุญเลี้ยงอุปถัมภ์ และ ฉัตรชัย ชูพานิช. คู่มือการทดสอบทราย หิน และคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 1
กรุงเทพมหานคร: 2541.





ภาคผนวก ก
การหาค่าความถ่วงจำเพาะ เปอร์เซ็นต์การดูดซึม
(Specific Gravity and Absorption)

วัตถุประสงค์

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะ(Specific Gravity) และค่าการดูดซึมน้ำ(Absorption)ของมวลรวมค่าความถ่วงจำเพาะมีประโยชน์ในการหาค่าปริมาณส่วนผสม วัสดุ มวลรวมละเอียด และ วัสดุมวลรวมหยาบในแอสฟัลต์คอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

1.มาตรฐาน ทล. – ท. 207/2517

2.มาตรฐาน ทล. – ท. 207/2518

ทฤษฎี

1.ความถ่วงจำเพาะ(Specific Gravity)

หมายถึงอัตราส่วนของน้ำหนักมวลรวมในอากาศเทียบกับน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากันที่อุณหภูมิเดียวกัน ความถ่วงจำเพาะของหินขึ้นอยู่กับค่าความถ่วงจำเพาะของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของมวลรวมและปริมาณช่องว่างของมวลรวม โดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 2.4-3ความถ่วงจำเพาะแบ่งออกเป็น หลายประเภท ดังนี้

1.1ความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์(Absolute Specific Gravity)หมายถึงอัตราส่วนของน้ำหนักมวลรวมในอากาศของมวลรวม เทียบกับมวลรวมโดยไม่รวมช่องว่างในมวลรวม ทั้งที่เป็นช่องว่างชนิดที่น้ำซึมผ่านเข้าได้(Capillary pores)และช่องว่างชนิดที่น้ำซึมผ่านเข้าไม่ได้(Impermeable pores)ณ อุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นในการหาค่าดังกล่าวจึงต้องทำการบดวัสดุให้ละเอียดก่อน เพื่อป้องกันการนำช่องว่างชนิดที่น้ำซึมผ่านเข้าไม่ได้(Impermeable pores)มาคิดแต่การหาโดยวิธีดังกล่าว มีความละเอียดเกินไปในงานคอนกรีต ดังนั้นในงานคอนกรีตทั่วไปจึงถือว่า ช่องว่างในมวลรวมนี้เป็นแบบช่องว่างชนิดที่น้ำซึมผ่านเข้าไม่ได้(Impermeable pores)นั่นถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของมวลรวม ที่จะกล่าวต่อไปสำหรับการทดสอบนี้คือช่องว่างชนิดที่น้ำซึมผ่านเข้าได้(Capillary pores)

1.2 ความถ่วงจำเพาะแท้จริง(Apparent Specific Gravity)หมายถึงอัตราส่วนของน้ำหนักมวลรวมอบแห้งที่ชั่งในอากาศ เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ชั่งในอากาศที่มีปริมาตรเท่ากับมวลรวม โดยไม่รวมช่องว่างในมวลรวมชนิดที่น้ำซึมผ่านเข้าได้(Capillary pores)ที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยสรุปมีค่าเท่ากับ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะแท้จริง} = \frac{\text{น้ำหนักมวลรวมอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ เนื้อมวลรวมที่ไม่รวมช่องว่างในมวลรวม}}$$

1.3 ความถ่วงจำเพาะสภาพแห้ง(Bulk Specific Gravity – Oven Dry)หมายถึงอัตราส่วนของน้ำหนักมวลรวมอบแห้งที่ชั่งในอากาศ เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ชั่งในอากาศที่มีปริมาตรเท่ากับมวลรวม โดยรวมช่องว่างในมวลรวมชนิดที่น้ำซึมผ่านเข้าได้(Capillary pores)ที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยสรุปมีค่าเท่ากับ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะแท้จริง} = \frac{\text{น้ำหนักมวลรวมอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ เนื้อมวลรวม+ช่องว่างในมวลรวม}}$$

1.4 ความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวแห้ง(Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักที่ชั่งในอากาศของมวลรวม กับน้ำหนักของน้ำซึมผ่านเข้าได้(Capillary pores)ที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยสรุปมีค่าเท่ากับ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักมวลรวมอบแห้ง} + \text{น้ำหนักน้ำในช่องว่าง}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ เนื้อมวลรวม+ช่องว่างในมวลรวม}}$$

การคำนวณค่าต่างๆในงานคอนกรีตโดยปกติถือว่ามวลรวมนั้นอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง(Saturated Surface Dry) เนื่องจากน้ำที่ถูกกักอยู่ในช่องว่างในมวลรวมนั้นไม่ได้มีส่วนในการทำปฏิกิริยากับยางแอสฟัลต์ ดังนั้นจึงถือว่าน้ำหนักดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของมวลรวม

2.ค่าการดูดซึมน้ำ(Absorption)

คือ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปจนเต็มช่องว่างที่น้ำซึมผ่านเข้าได้(Capillary pores)ของมวลรวมแต่ไม่รวมน้ำที่เกาะอยู่ผิวนอกของมวลรวม(Free Water)แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่อยู่ในช่องว่างต่อน้ำหนักของมวลรวมที่สภาพอบแห้ง

$$\% \text{ Absorption} = \frac{(\text{SSD} - \text{OD})}{\text{OD}} + 100$$



ภาคผนวก ข

การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ชนิดผสมร้อน โดยวิธีมาร์แชลล์

วัตถุประสงค์

เพื่อที่จะกำหนดออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ชนิดผสมร้อน โดยวิธีมาร์แชลล์

เอกสารอ้างอิง

ทล.-ท. 604/2517 เทียบเท่ามาตรฐาน ASTM.D-1559

ทฤษฎี

แอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสมของหินย่อยกับยางแอสฟัลต์ ส่วนผสมดังกล่าวเหมาะสมที่จะใช้เป็นผิวจราจร ใช้ลาดท้องคลอง หรือสระน้ำ การผลิตคอนกรีตแอสฟัลต์สามารถผลิตได้หลายวิธี แต่วิธีที่เหมาะสมในประเทศไทยมี 2 วิธีคือ แบบผสมเสร็จจากโรงงาน (Plant Mix) และแบบผสมในสนาม (Field Mix) กรรมวิธีในการผลิตคอนกรีตแอสฟัลต์ผสมเสร็จก็ต้องมีโรงงานหรือสถานที่ผสม (Plant) โดยให้ความร้อนแก่หิน และยางจนได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้วจึงผสมคลุกเคล้ากันในเครื่องในอัตราส่วนที่ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ เมื่อผสมเสร็จจึงเทใส่รถบรรทุก แล้วนำไปยังสถานที่ก่อสร้างเทลงในเครื่องปูคอนกรีตแอสฟัลต์ (Asphalt concrete paving machine or paver) ปูตามความหนาที่ต้องการแล้วบดอัดด้วยรถล้อเหล็ก หรือล้อยางตามลำดับ แอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมด้วยวิธีนี้ถือว่าการผลิตที่มีคุณภาพดีที่สุดในขณะนี้เพราะต้องใช้เครื่องจักร และเครื่องมือหลายชนิด ส่วนคอนกรีตแอสฟัลต์และแบบผสมในสนาม (Field Mix) ทำได้โดยราดยางแอสฟัลต์ลงบนพื้นที่ผิวที่เตรียมไว้ แล้วเกลี่ยมวลรวม หรือ หินย่อย หรือ กรวดย่อยปิดทับแล้วทำการบดอัดให้เรียบเรียกว่า Surface Treatment ผิวทางประเภทนี้อาจทำเพียงชั้นเดียว (Single Bituminous Surface Treatment, SBST) สองชั้น (Multi Bituminous Surface Treatment, MBST) ผิวทางแบบนี้คุณภาพจะไม่ดีเท่ากับแบบผสมเสร็จจากโรงงาน (Plant Mix) แต่ทำได้รวดเร็วและราคาถูกกว่า อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าจะก่อสร้างด้วยวิธีใด จะต้องกำหนดออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับจำนวนขบวนพาหนะ (หรือโดยในคือนักขบวนพาหนะ) และต้องทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆ ที่กำหนดไว้ในห้องปฏิบัติการเสมอ การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตวิธีหนึ่ง ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ วิธีมาร์แชลล์ (Marshall Test) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย U.S. Corps of Engineers โดย ประเมิน เสถียรภาพ (Stability) การไหล

(Flow) ความหนาแน่น(Density) ปริมาณอากาศ(Air Voids)ปริมาณช่องว่างของวัสดุมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate,VMA)ปริมาณช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยยาง(Voids Filled with Binder or void filled with asphalt cement,VFB or VFA) ตามลำดับซึ่งในการประเมินคุณภาพเหล่านี้ จะกระทำโดยการผันแปรปริมาณส่วนผสมของยางหลายๆค่า ทั้งนี้เพื่อหาค่าที่เหมาะสม สำหรับ เสถียรภาพ (Stability) ความทนทาน(Durability) ความยืดหยุ่น (Flexibility) ความต้านทานความล้า (Fatigue Resistance) กำลังต้านทานการแตกร้าว(Fracture Strength) ความต้านทานการลื่นไถล(Skid Resistance) ความทึบน้ำ (Impermeability) และความสามารถในการทำงาน(Workability)เป็นต้น

การวิจัยของตัวอย่างที่ทดสอบ โดยเครื่องมือมาร์แชลล์ก่อนข้างที่จะซับซ้อน โดยพื้นฐานแล้วอาจจะกล่าวได้ว่า วิธีทดสอบนี้เป็นชนิดหนึ่งของการทดสอบแบบ Unconfined Compression ซึ่งในสภาพความเป็นจริงผิวของการจราจร จะถูกกดทับโดยยางรถยนต์(หรือน้ำหนักขบวนพาหนะ) ชั้นพื้นทาง และผิวจราจรรอบข้าง ดังนั้นการทดสอบโดยวิธีนี้จึงมีความสัมพันธ์กับการเสียดรูปของผิวจราจรเพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ผลทดสอบโดยทั่วไปพบว่าการเพิ่มปริมาณยางทำให้มีผลในด้านคุณสมบัติการไหลมากขึ้น ในขณะที่ค่าเสถียรภาพจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน จนกระทั่งปริมาณยางเพิ่มขึ้นถึงขีดจำกัดระดับหนึ่ง ค่าเสถียรภาพจะลดลง ดังนั้นในการออกแบบส่วนผสมบางองค์การ จะมีการกำหนดเสถียรภาพต่ำสุด และกำหนดค่าการไหลเป็นช่วงโดยแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์การใช้งาน(เช่น ทำถนน หรือ สนามบิน เป็นต้น) นอกเหนือจากปริมาณยางที่ใช้ในส่วนผสมแล้วค่าเสถียรภาพ และการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตยังขึ้นอยู่กับชนิดของยางชั้นคุณภาพของมวลรวม รูปร่างของมวลรวม ความพรุน พลังงานในการบดทับ และอื่นๆ

ภาคผนวก ก

การทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต ชนิดผสมร้อน โดยวิธีมาร์แชลล์

วัตถุประสงค์

การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์เป็นวิธีหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ เสถียรภาพ การไหล ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ ค่าร้อยละของช่องว่างอนุภาคของมวลรวม และค่าร้อยละของช่องว่างที่แทนที่ด้วยยาง AC (60/70)

เอกสารอ้างอิง

ทล.-ท. 604/2517 เทียบเท่ามาตรฐาน ASTM.D-1559

ทฤษฎี

การทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต ชนิดผสมร้อน โดยวิธีมาร์แชลล์

ความหนาแน่น(Density) คือมวลของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรผิวทาง แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากพอที่จะทำให้อายุการใช้งานและมีคุณภาพดี

ดังนั้น $D = (A/(B-C))$ (2.1)

เมื่อ D = ความหนาแน่น (gm./ml.)

A = ชั่งน้ำหนักในอากาศ(gm)

B = ชั่งน้ำหนักอิมมัวผิวแห้ง(gm)

C = ชั่งน้ำหนักในน้ำ(gm)

เสถียรภาพ(Stability) คือความสามารถในการรับน้ำหนักจราจรได้โดยไม่เกิดร่องล้อหรือเกิดคลื่น หรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ผิดไปจากเดิม เสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับความเสียดทานภายใน และแรงยึดประสานระหว่างอนุภาคของมวลรวม ความเสียดทานเป็นผลมาจากคุณสมบัติของมวลรวม ซึ่งได้แก่ รูปร่างอนุภาคของมวลรวม ลักษณะความเรียบ หยาบ หรือ ขรุขระของผิวอนุภาคของมวลรวม ส่วนแรงยึดประสานเกิดมาจากคุณสมบัติของแอสฟัลต์ในการยึดเกาะอนุภาคของมวลรวมให้ติดกันได้ดีเพียงใด ผลรวมของความเสียดทาน และแรงยึดเกาะระหว่าง

อนุภาคของมวลรวม จะช่วยป้องกันไม่ให้อนุภาคของมวลรวมเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกัน
เมื่อมีน้ำหนักของยานพาหนะมากระทำ

$$\text{ดังนั้น } S = (9.7021X) - 31.5189 \quad (2.2)$$

เมื่อ $S =$ เสถียรภาพ (Lbs.)

$X =$ ค่าที่อ่านได้จาก Dial Gage

ค่าการไหล(Flow)คือความสามารถทนต่อสภาพอุณหภูมิที่สูงขึ้นเมื่อสภาพถนนจริงได้รับความร้อนจะเกิดการไหลของพื้นผิวจราจร ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ฉะนั้นในห้องทดลองจึงได้จำลองโดยการนำก้อนตัวอย่างแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และมาทำการทดสอบหาการไหล เพื่อที่จะนำมาใช้ในสภาพงานจริงในสภาวะนั้นๆ

$$\text{ดังนั้น } F = \text{ค่าที่อ่านได้จาก Dial Gage } (1/100) \quad (2.3)$$

เมื่อ $F =$ ค่าการไหล(cm.)

ช่องว่างอากาศ(Air Void,AV) คือ ปริมาตรทั้งหมดของช่องเล็กๆที่มีอากาศบรรจุอยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว แสดงเป็นค่าร้อยละของปริมาตรทั้งก้อนของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว

$$\text{ดังนั้น } AV = VMA - j \quad (2.4)$$

เมื่อ $AV =$ ช่องว่างอากาศ(%)

$VMA =$ ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม(%)

$j =$ ผลรวมปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) (%)

ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate, VMA) คือ ปริมาณของช่องว่างที่อยู่ระหว่างอนุภาคแต่ละก้อนของมวลรวมในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ซึ่งเท่ากับค่าของช่องว่างอากาศรวมกับค่าแอสฟัลต์ประสิทธิผล แสดงค่าเป็นค่าร้อยละของปริมาณทั้งหมดของส่วนผสม

$$\text{ดังนั้น } VMA = 100 - k$$

เมื่อ $VMA =$ ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (%)

$K =$ ผลรวมปริมาณวัสดุมวลรวม (%)

ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต (Voids Filled With Bituminous , VFB) คือส่วนหนึ่งของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม โดยเป็นส่วนที่แอสฟัลต์คอนกรีตประสิทธิผลบรรจุอยู่

$$\text{ดังนั้น } VFB = ((100 * j) / VMA) \quad (2.6)$$

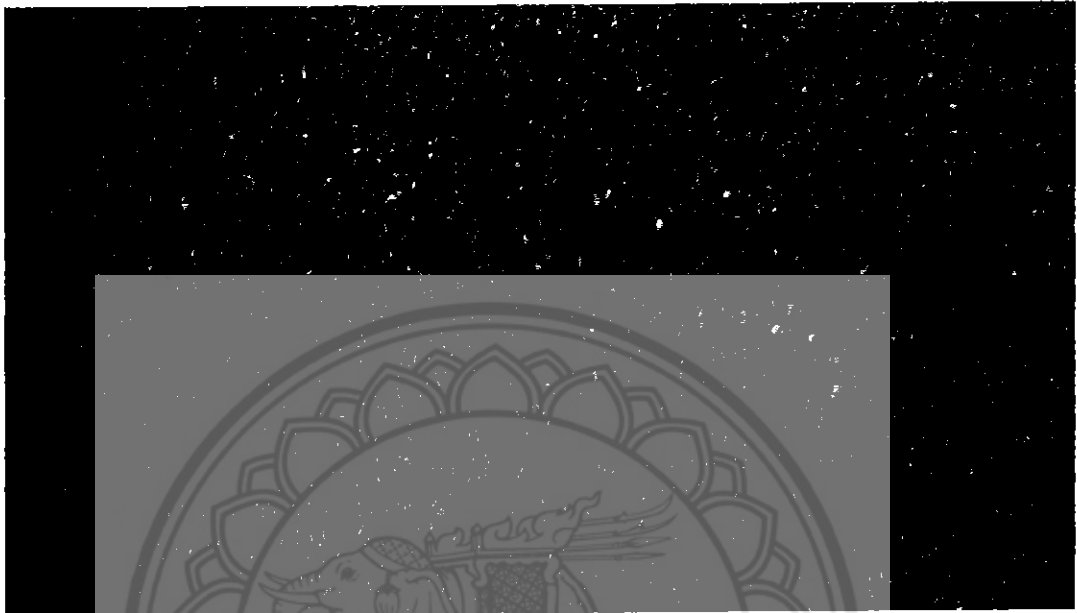
เมื่อ VFB = ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (%)

VMA = ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (%)

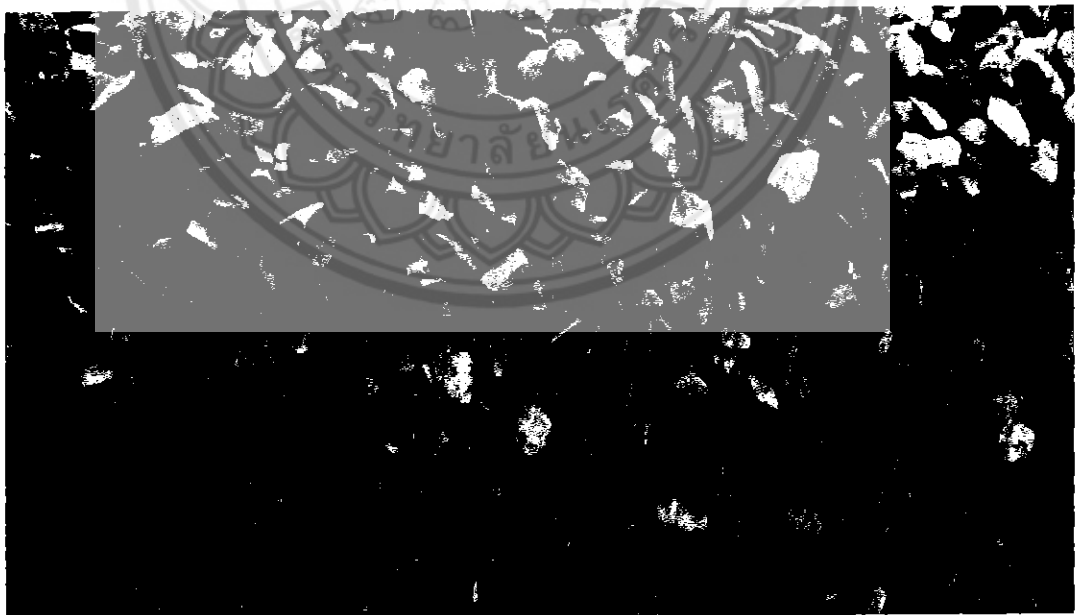


ภาคผนวก ง

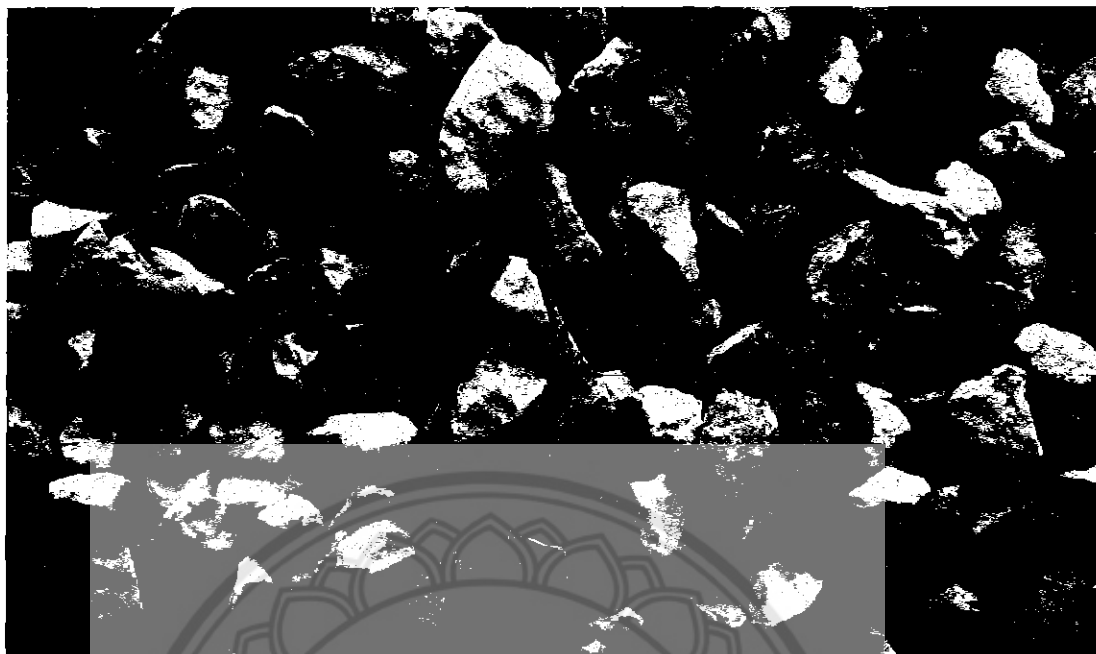
ภาพประกอบโครงการ



รูปที่ 1 วัดคูมวกรวมตะเคียด(หินฝุ่น)ที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์4



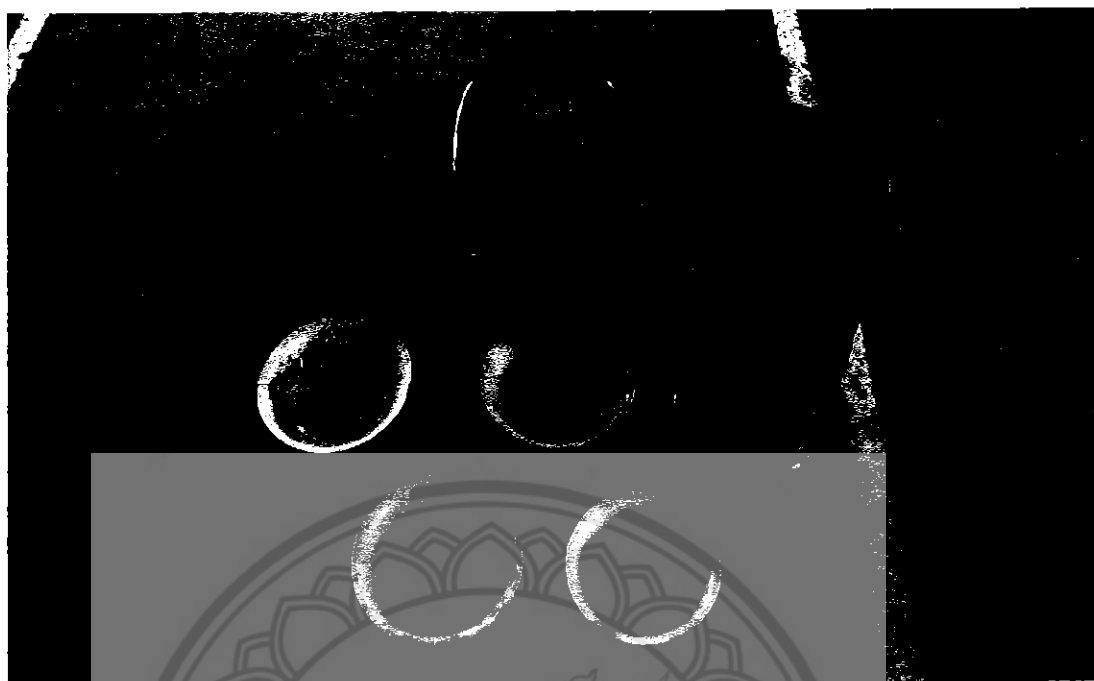
รูปที่ 2 วัดคูมวกรวมหยาบ(เบอร์ 3/8 นิ้ว)



รูปที่ 3 วัสดุรวมหยาบ(เบอร์ 1/2 นิ้ว)



รูปที่ 4 วัสดุรวมหยาบ(เบอร์ 3/4 นิ้ว)



รูปที่ 5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหาขนาดกะของวัสดุมวลรวมละเอียด



รูปที่ 6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหาขนาดกะของวัสดุมวลรวมหยาบ



รูปที่ 7 ชุดเครื่องมือช่างของวัสดุวิศวกรรมหยาบ



รูปที่ 8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหาค่าความถี่เฉพาะของวัสดุวิศวกรรมละเอียด



รูปที่ 9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหาค่าทรายสมมูล(Sand Equivalent)



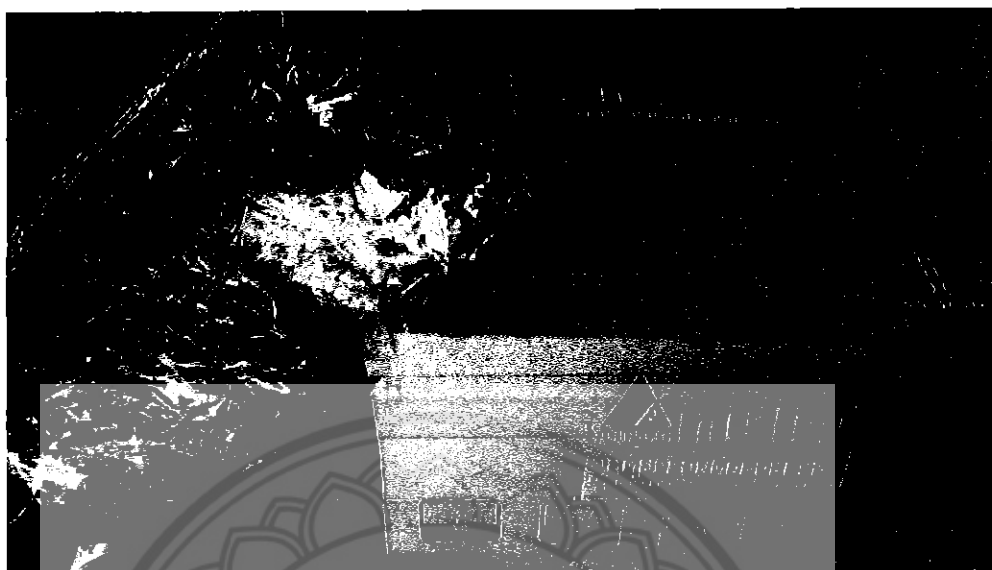
รูปที่ 10 น้ำยาที่ใช้ในการทดสอบหาค่าทรายสมมูล (สารละลายเข้มข้น)



รูปที่ 11 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าการสึกหรอ



รูปที่ 12 เครื่องมือที่ใช้ในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ชนิดผสมร้อน



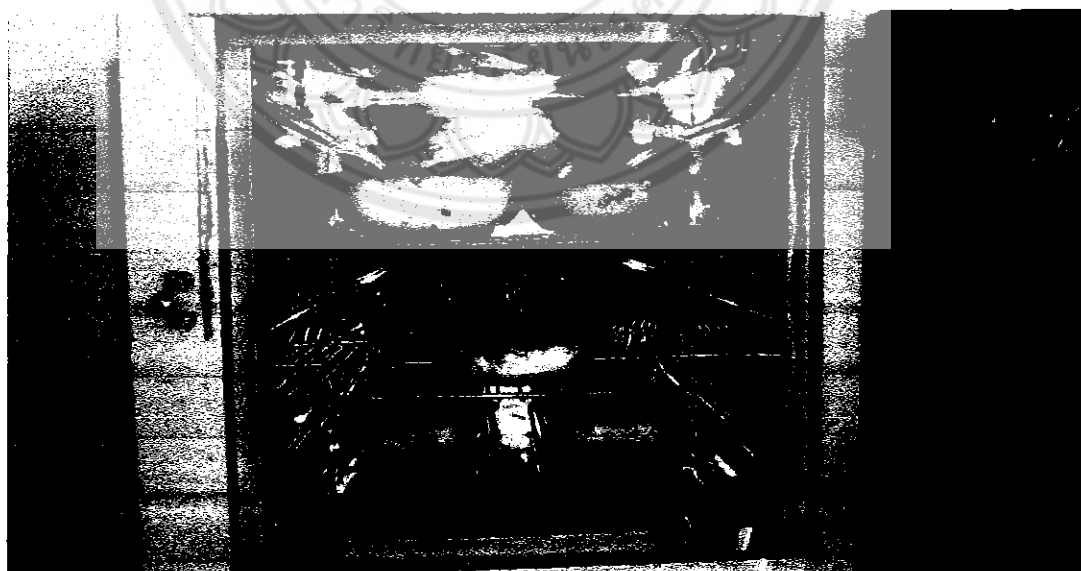
รูปที่ 13 ขางแอสฟัลต์ AC 60/70



รูปที่ 14 ขางแอสฟัลต์ AC 60/70



รูปที่ 15 อุปกรณ์ที่ใช้ในการบดอัดแอสฟัลต์คอนกรีต แทนรอง และที่จับแบบ



รูปที่ 16 เตรียมตัวอย่างวัสดุตามอัตราส่วนที่ออกแบบและให้ความร้อนกับตัวอย่างที่เตรียมไว้ที่

อุณหภูมิ 180 ± 5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 17 ให้ความร้อนกับโมลที่ อุณหภูมิ 180 ± 5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 18 ให้ความร้อนกับยางแอสฟัลต์ AC 60/70 ที่ อุณหภูมิ 150 ± 5 องศาเซลเซียส



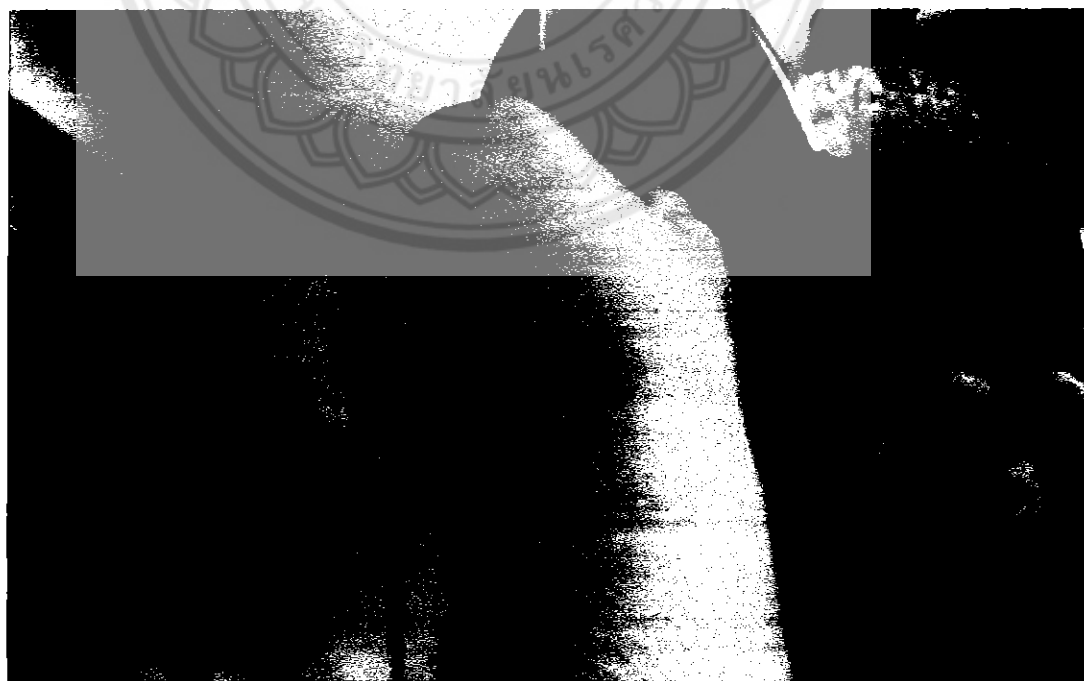
รูปที่ 19 ผสมตัวอย่างร้อนให้ยางแอสฟัลต์ AC 60/70เคลือบโดยทั่ว



รูปที่ 20 ตรวจวัดอุณหภูมิให้ได้ 150 ± 5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 21 ตรวจสอบวัดอุณหภูมิให้ได้ 150 ± 5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 22 เทตัวอย่างที่ผสมแล้วลงแบบ



รูปที่ 23 แทงตัวอย่างโคครอบ 15 ครั้ง และแทงกลางก้อนตัวอย่างให้ทั่ว 10 ครั้ง



รูปที่ 24 ดำก้อนตัวอย่างให้ครบตามจำนวนครั้งที่มาตรฐานกำหนด



รูปที่ 25 เครื่องค้นก้อนตัวอย่างออกจากแบบ



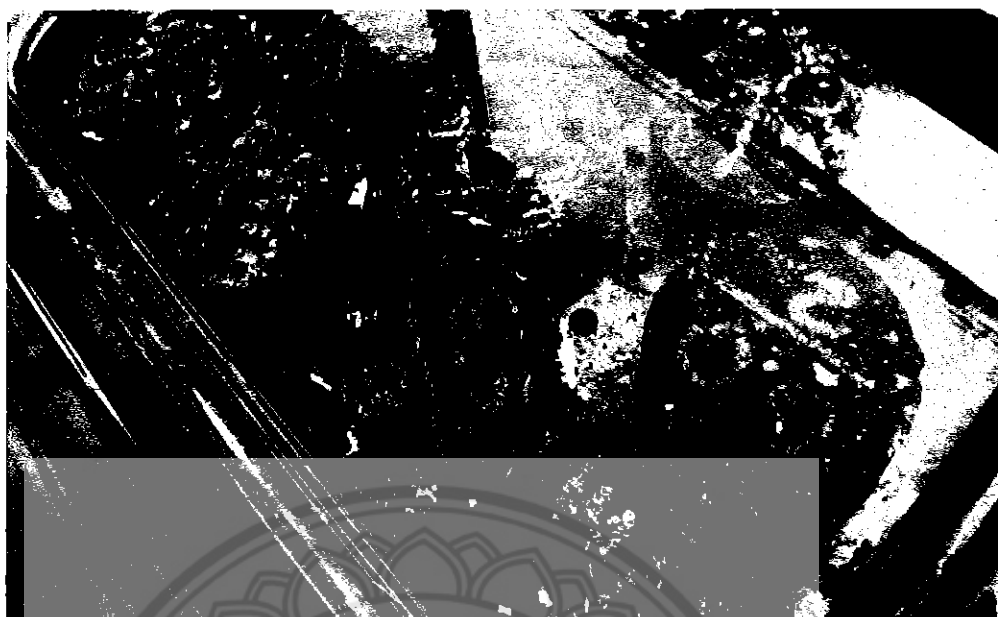
รูปที่ 26 หม้อดับน้ำไฟฟ้า



รูปที่ 27 ทิ้งตัวอย่างให้เย็นลง 24 ชั่วโมง



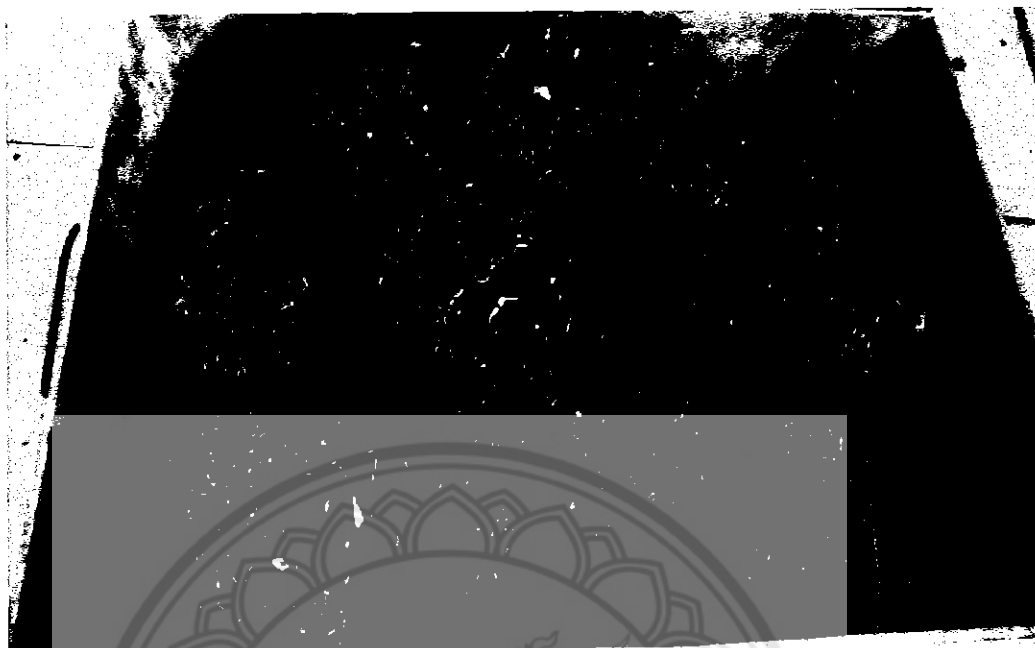
รูปที่ 28 คั้นตัวอย่างออกจากแบบ



รูปที่ 29 แซ่ตัวอย่างในน้ำที่อุณหภูมิที่กำหนดไว้เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 30 นำไปทดสอบหาค่าเสถียรภาพ และการไหล



รูปที่ 31 ลักษณะการวิบัติของก้อนตัวอย่างหลังการทดสอบ



รูปที่ 32 ลักษณะการวิบัติของก้อนตัวอย่างหลังการทดสอบ



ตารางบันทึกผลการทดลอง

ชนิดของวัสดุ Line Stone แอสฟัลต์คอนกรีต ชั้น

แหล่งวัสดุ โรงโม่หิน ศิลา ยูเคีย อ.ทองแสนขัน จ.อุดรดิตถ์

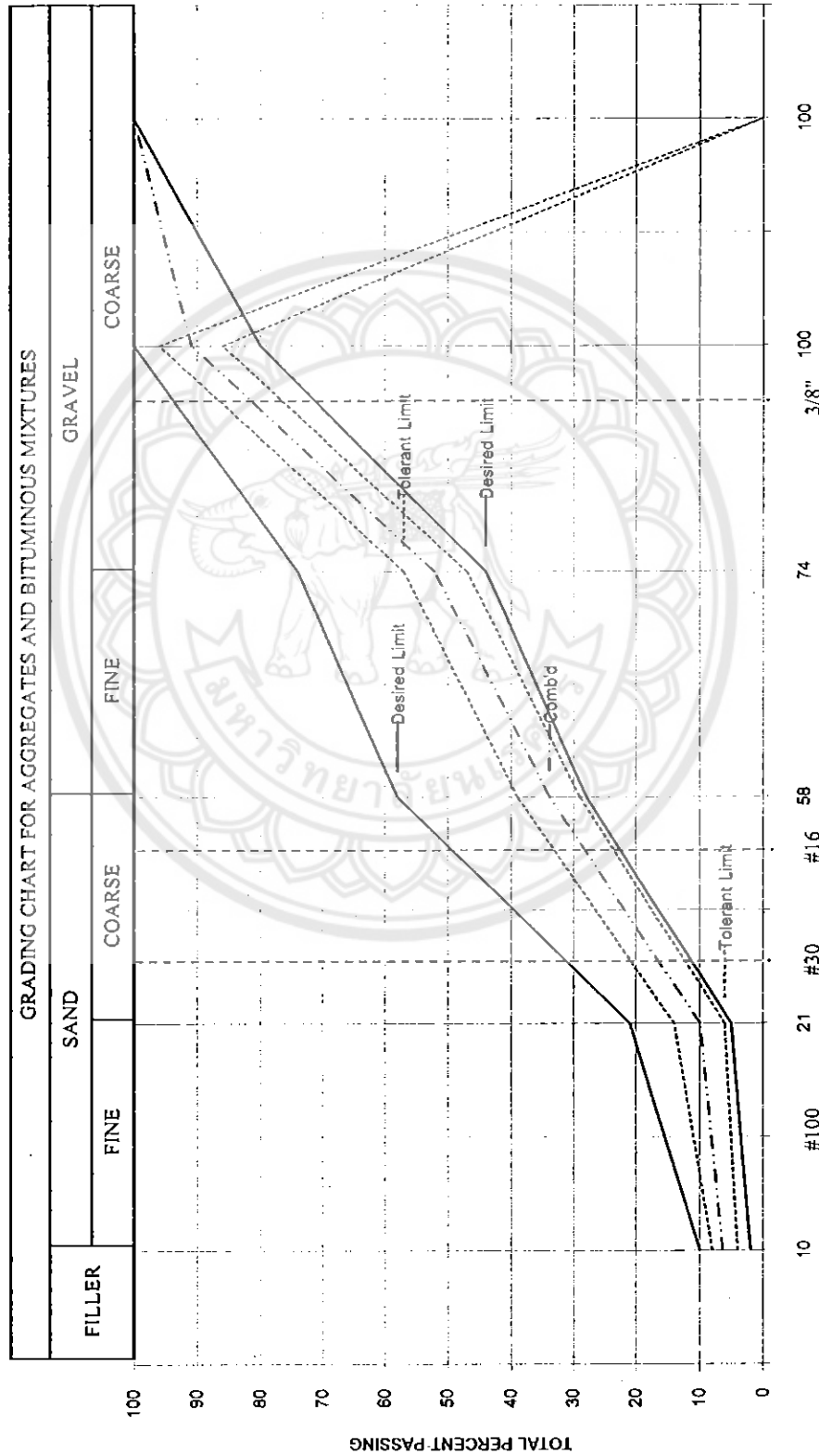
Plant หจก. กิจสินเลิศ

SIEVE SIZE	COLD BIN					Comb'd	HOT BIN					Comb'd	DESIRED	TOLERANT LIMIT
	% PASSING				LIME / CEMENT		% PASSING							
	SAND	BIN 1	BIN 2	BIN 3			BIN 4	BIN 1	BIN 2	BIN 3	BIN 4			
1 1/2 "														
1 "												100	100	
3/4 "											100	80 - 100	8.7	
1/2 "											100	-	2.7	
3/8 "											31.0	44 - 74	1.9	
# 4										100.0	3.1	28 - 58	33.8	
# 8										73.6	2.6	-	22.0	
# 16										47.6	31.1	-	14.0	
# 30										31.1	22.1	-	9.9	
# 50										22.1	17.0	5 - 21	7.7	
# 100										17.0	14.1	-	6.3	
# 200										14.1		2 - 10		

MIX PROPORTION						45	22	17	16
----------------	--	--	--	--	--	----	----	----	----

สำนักวิเคราะห์และพัฒนาทาง

ชั้น Wearing Course



SIEVE SIZE - US STANDARD SIEVE SERIES - SQUARES OPENINGS

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง
กรมทางหลวง

Specific Gravity of Hot Bin 1 Retained # 200 : GB = 2.664 ; GA = 2.764
 Passing # 200 : GA = 2.737

$$\text{Sp.Gr. Blend} = \frac{100}{\frac{(R\#200 / GB\#200) + (P\#200 / GA\#200)}{(14.1/2.764) + (85.9/2.664)}}$$

$$= 2.678$$

Specific Gravity of Hot Bin 2 Retained # 4 : GB = - ; GA = -
 Passing # 4 : GB = - ; GA = -

$$\text{Sp.Gr. Blend} = \frac{100}{\frac{(R\#4 / GB\#4) + (P\#4 / GA\#4)}{}}$$

$$= -$$

		LIME & CEMENT	Bin 1 (B1)	Bin 2 (B2)	Bin 3 (B3)	Bin 4 (B4)
Bulk Specific Gravity (GB.)			2.678	2.704	2.781	2.723
Apparent Specific Gravity (GA.)			2.764	2.761	2.796	2.753
Flakiness Index (F.I.)			-	-	-	-
Elongation Index (E.I.)			-	-	-	-
% Passing Sieve # 4 (P)			100.0	31.0	0.1	1.9
Mix Proportion (H)			45	22	17	16

Apparent specific Gravity Blend = $\frac{100}{\frac{(CM / GA.CM) + (HB1 / GA1) + (HB2 / GA2) + (HB3 / GA3) + (HB4 / GA4)}{}}$

Blend GA = 2.767

Bulk specific Gravity Blend = $\frac{100}{\frac{(CM / GA.CM) + (HB1 / GB1) + (HB2 / GB2) + (HB3 / GB3) + (HB4 / GB4)}{}}$

Blend GB. = 2.708

Flakiness Index of Total Agg = $\frac{FL2 (100-P2) HB2 + FL3 (100-P3) HB3 + FL4 (100-P4) HB4}{(100-P2) HB2 + (100-P3) HB3 + (100-P4) HB4}$

= %

Elongation Index of Total Agg. = $\frac{EI.2 (100-P2) HB2 + EI.3 (100-P3) HB3 + EI.4 (100-P4) HB4}{(100-P2) HB2 + (100-P3) HB3 + (100-P4) HB4}$

= %

**สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
กรมทางหลวง**

เจ้าของตัวอย่าง หจก. กิจสินเลิศ
วันที่ทดสอบ 30 ต.ค. 53

เจ้าหน้าที่ทดลอง

Specific Gravity Test

Sample Hot Bin I Passing # 200
Source หจก. กิจสินเลิศ

Pycnometer No.

Container No.

Wt. Pycnometer + SSD Sample	=	-	g	Wt. Container + Dry Sample	=	426.0	g
Wt. Pycnometer	=	-	g	Wt. Container	=	231.0	g
Wt. SSD Sample	=	-	g	Wt. Dry Sample	=	195.0	g

Determination No. 1	1	2	3
Temperature (T) C	50	40	35
Density of water (D _t) g/ml.	0.9881	0.9922	0.9941
Wt. Pycnometer + Water + Sample (W ₁) g	782.3	783.5	784.5
Wt. Pycnometer + Water (W ₂) g	657.33	658.95	659.74
Bulk Sp. Gr. (Oven - Dry Basis)			
$GB. (t C) = \frac{B \times D_t}{A + W_2 - W_1}$			
$GB. (30 C) = \frac{GB. (t C)}{0.9957}$			
Apparent Sp. Gr.			
$GA. (t C) = \frac{B \times D_t}{B + W_2 - W_1}$			
$GA. (30 C) = \frac{GA. (t C)}{0.9957}$			
	2.751	2.746	2.760
	2.751	2.758	2.772

Average GB. = -
Average GA. = 2.764
% Absorption = $\frac{A-B}{B} \times 100$ = -

**สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
กรมทางหลวง**

เจ้าของตัวอย่าง มจร. กิจสินเลิศ
วันที่ทดลอง 30 ต.ค. 53

เจ้าหน้าที่ทดลอง

Specific Gravity Test

Sample Hot Bin 1 Retained # 200
Source มจร. กิจสินเลิศ

Pycnometer No.	2	Container No.	2
Wt. Pycnometer + SSD Sample	= 660.0 g	Wt. Container + Dry Sample	= 741.3 g
Wt. Pycnometer	= 167.0 g	Wt. Container	= 253.0 g
Wt. SSD Sample	= 493.0 g	Wt. Dry Sample	= 488.3 g

Determination No. 2	1	2	3
Temperature (T) C	45	40	35
Density of water (D _w) g/ml	0.9902	0.9922	0.9941
Wt. Pycnometer + Water + Sample (W ₁) g	965.5	966.0	966.5
Wt. Pycnometer + Water (W ₂) g	655.0	655.6	656.4
Bulk Sp. Gr. (Oven - Dry Basis) $GB. (t C) = \frac{B \times D_L}{A + W_2 - W_1}$ $GB. (30 C) = \frac{GB. (t C)}{0.9957}$	2.650	2.653	2.655
 $GB. (30 C) = \frac{GB. (t C)}{0.9957}$	2.661	2.664	2.666
Apparent Sp. Gr. $GA. (t C) = \frac{B \times D_L}{B + W_2 - W_1}$ $GA. (30 C) = \frac{GA. (t C)}{0.9957}$	2.727	2.723	2.725
 $GA. (30 C) = \frac{GA. (t C)}{0.9957}$	2.739	2.735	2.737

Average GB. = 2.664

Average GA. = 2.737

% Absorption = $\frac{A - B}{B} \times 100 = 1.00$

B

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

กรมทางหลวง

เจ้าของตัวอย่าง หจก. กิ่งสินเหล็ก

วันที่ทดลอง 1 พ.ย. 53

เจ้าหน้าที่ทดลอง

SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF COARSE AGGREGAT

Sample HOT BIN II , III , IV Wearing Course

Source

SAMPLE		Weight of sample			GB	GA	% Abs
		in oven-dry	in SSD.	immersed	A	A	(B-A)*100
		condition(A)	condition(B)	in water(C)	(B-C)	(A-C)	A
HOT BIN 2	No. 1	796.5	802.5	508.7	2.711	2.768	0.75
	No. 2	742.5	748.3	473.2	2.699	2.757	0.78
	No. 3	823.5	829.7	525.0	2.703	2.759	0.75
	No. 4						
	Total	2362.5	2380.5	1506.9	2.704	2.761	0.76

HOT BIN 3	No. 1	1084.5	1086.5	697.2	2.785	2.800	0.18
	No. 2	1123.0	1125.5	722.7	2.789	2.805	0.22
	No. 3	1276.0	1277.8	817.5	2.772	2.783	0.14
	No. 4						
	Total	3483.5	3489.8	2237.4	2.781	2.796	0.18

HOT BIN 4	No. 1	1271.6	1176.8	809.2	2.719	2.750	0.45
	No. 2	1485.5	1492.4	946.7	2.721	2.757	0.46
	No. 3	1345.0	1349.3	856.2	2.728	2.752	0.32
	No. 4						
	Total	4102.1	4118.5	2612.1	2.723	2.753	0.40

สำนักตรวจสอบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม กรมทางหลวง

Hot mix design data by The Marshall Method

Mix Proportion Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4	45:22:17:16	(By Weight)	Pen. Grade AC 60 - 70
Avg. Sp.Gr. Agg. And Filler (Gag)	= 2.708		Sp.Gr. Ac (Gac) = 1.02%
Compaction, number of blows	= 75	blows	Bitumen Absorption (x) = 0.25 %

No. of Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
% AC by Wgt. Of Agg. (a)	4.50			5.00			5.50		
% AC by Wgt. Of Mix (b)	4.31			4.76			5.21		
% Eff. AC by Wgt of Mix (c) : $b \cdot (x(100-b)/100)$	4.07			4.52			4.97		
Spec Hgt. in.(d)	1	2	3	1	2	3	1	2	3
DENSITY									
Wt in air gm. (e)	1249.3	1251.0	1244.0	1254.8	1251.0	1255.0	1254.0	1256.5	1251.0
Wt sat surface dry gm. (f)	1250.0	1252.2	1246.5	1256.5	1252.5	1256.6	1255.5	1257.5	1252.0
Wt in water gm. (g)	730.7	729.2	731.2	739.7	737.2	739.5	742.2	743.0	739.2
Bulk Volume ml. (h) : f-g	519.3	523.0	515.3	516.8	515.3	517.1	513.3	514.5	512.8
Bulk Density gm./ml. (i) : e/h	2.406	2.392	2.414	2.423	2.428	2.427	2.443	2.442	2.440
Average Density	2.404			2.428			2.442		
VOID ANALYSIS									
Volume AC % Total (j) : $c \cdot i / Gac$	9.6			10.8			11.9		
Volume Agg % Total (k) : $(100-b)/Gag$	84.9			85.4			85.5		
VMA % (l) : $100-k$	15.1			14.6			14.5		
Air Voids % (m) : $1-j$	5.5			3.8			2.6		
VFB % (n) : $100 \cdot j / l$	63.6			74.0			82.1		
STABILITY									
Meas. lbs	2247	2250	2243	2340	2350	2340	2512	2534	2490
Adjust lbs									
Average Stability	2247			2343			2512		
FLAWS									
Meas. 1/100"	11	10	11	12	11	12	13	13	14
Average Flow	11			12			13		

สำนักตรวจสอบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม กรมทางหลวง

Hot mix design data by The Marshall Method

Mix Proportion Hot, Bin 1 : 2 : 3 : 4	45:22:17:16	(By Weight)	Pen. Grade AC 60 - 70
Avg. Sp. Gr. Agg. And Filler (Gag)	= 2.708		Sp Gr. Ac. (Gac) = 1.02%
Compaction, number of blows	= 75	blows	Bitumen Absorption (x) = 0.25 %

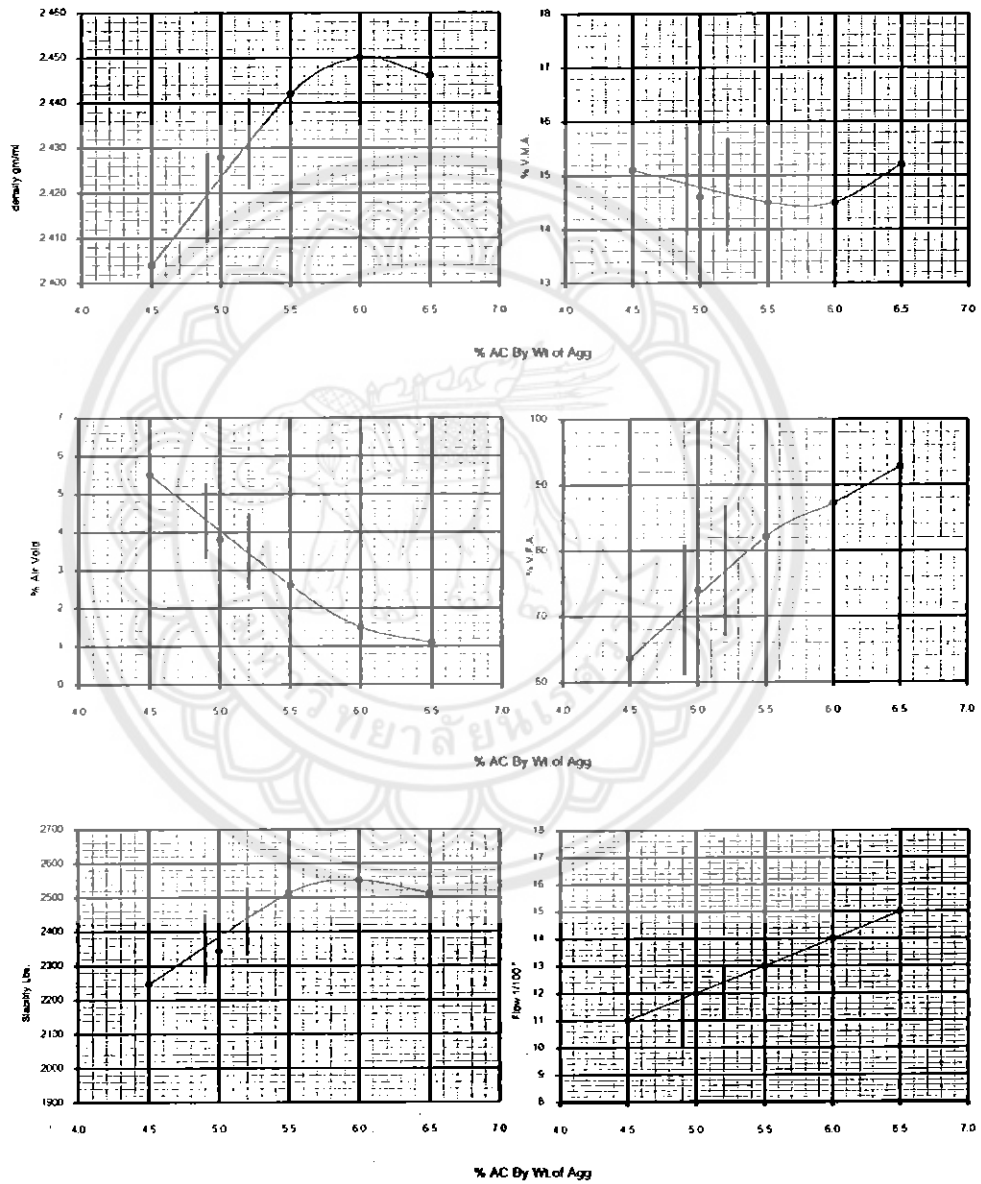
No. of Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
% AC by Wgt. Of Agg. (a)	6.00			6.50					
% AC by Wgt. Of Mix (b)	5.66			6.10					
% Eff. AC by Wgt of Mix (c) : $b \cdot (x(100-b)/100)$	5.42			5.86					
Spec Hgt. in (d)	1	2	3	1	2	3	1	2	3
DENSITY									
Wt in air gm. (e)	1258.0	1256.0	1251.5	1269.9	1275.0	1263.0			
Wt sat surface dry gm. (f)	1259.5	1257.0	1253.0	1271.0	1276.0	1264.5			
Wt in water gm. (g)	745.9	744.4	742.7	752.7	752.2	749.7			
Bulk Volume ml. (h) : f-g	513.6	512.6	510.3	518.3	523.8	514.8			
Bulk Density gm./ml. (i) : e/h	2.449	2.450	2.451	2.450	2.434	2.453			
Average Density	2.450			2.446					
VOID ANALYSIS									
Volume AC % Total (j) : $c \cdot i / Gac$	13.0			14.1					
Volume Agg % Total (k) : $(100-b)/Gag$	85.4			84.8					
VMA % (l) : $100-k$	14.5			15.2					
Air Voids % (m) : $1-j$	1.5			1.1					
VFB % (n) : $100 \cdot j / l$	87.2			92.8					
STABILITY									
Mcas. Lbs	2543	2551	2556	2452	2550	2535			
Adjust Lbs									
Average Stability	2550			2512					
FLOWS									
Mcas. 1/100"	13	14	14	15	15	15			
Average Flow	14			15					

สำนักตรวจสอบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม กรมทางหลวง

Hot mix design data by The Marshall Method

Mix Proportion Hot Bin 1:2:3:4	45:22:17:16	(By Weight)	Pen Grade	AC 60 - 70								
Avg. Sp.Gr. Agg. And Filler (G _g)	= 2.708		Sp.Gr. Ac. (G _{ac})	= 1.02%								
Compaction, number of blows	= 75	blows	Bitumen Absorption (x)	= 0.25 %								
	30 บlow	40 บlow	50 บlow									
No. of Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
% AC by Wgt. Of Agg. (a)		5.00			5.00			5.00		5.00		
% AC by Wgt. Of Mix (b)		4.76			4.76			4.76		4.76		
% EIL AC by Wgt of Mix (c): $b \cdot (a(100-b)/100)$		4.52			4.52			4.52		4.52		
Spec Hgt. in (d)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
DENSITY												
Wt in air gm. (e)	1254.8	1251.0	1255.0	1254.8	1251.0	1255.0	1254.8	1251.0	1255.0	1254.8	1251.0	1255.0
Wt mt surface dry gm. (f)	1256.5	1252.5	1256.6	1256.5	1252.5	1256.6	1256.5	1252.5	1256.6	1256.5	1252.5	1256.6
Wt in water gm. (g)	739.7	737.2	739.5	739.7	737.2	739.5	739.7	737.2	739.5	739.7	737.2	739.5
Bulk Volume ml. (h): f-g	516.8	515.3	517.1	516.8	515.3	517.1	516.8	515.3	517.1	516.8	515.3	517.1
Bulk Density gm./ml. (i): e/h	2.423	2.428	2.427	2.423	2.428	2.427	2.423	2.428	2.427	2.423	2.428	2.427
Average Density		2.428			2.428			2.428			2.428	
VOID ANALYSIS												
Volume AC % Total (j): c^*/G_{ac}		10.8			10.8			10.8			10.8	
Volume Agg % Total (k): $(100-b)/G_g$		83.4			85.4			85.4			85.4	
VMA % (l): $100-k$		14.6			14.6			14.6			14.6	
Air Voids % (m): $1-j$		3.8			3.8			3.8			3.8	
VFB % (n): $100^*/j/l$		74.0			74.0			74.0			74.0	
STABILITY												
Meas. Lbs	2700	2845	2540	2550	2600	2470	2345	2455	2410	2340	2350	2340
Adjust Lbs												
Average Stability		2695			2540			2410			2343	
FLAWS												
Meas. 1/100"	9	9	10	10	11	10	9	11	12	12	11	12
Average Flow		9			10			11			12	

MARSHALL METHOD TEST
 แอสฟัลต์คอนกรีต ชั้น Wearing Course



สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

กรมทางหลวง

เจ้าของตัวอย่าง หจก. กิจสินเลิศ

วันที่รับตัวอย่าง 11 ต.ค. 53 วันที่ทดสอบ 12 ต.ค. 53

เจ้าหน้าที่ทดลอง

Source Hot Bin จาก Plant โรงไม้หิน สีลา ยู.ดี อ.ทองแสนขัน จ.อุดรดิตถ์

Sample No of

Abrasion Test of Coarse Aggregate

by Los Angeles Machine

Material หิน 3/4 " Nominal size
Grading B Number of revolutions
Number of abrasive charges 11 Weight of charges gm.

Sieve size		Acumulative	
Passing	Retained on	Weight of sample	
3/4"	1/2"	2,500	gm.
1/2"	3/8"	2,500	gm.
Original weight of sample (W1)		5000	gm.
Final weight of sample (W2)		3819	gm.
Loss (W1 -W2)		1181	gm.
Percentage of wear $\frac{(W1 -W2) \times 100 \%}{W1}$		23.6	%

Abrasion Test of Coarse Aggregate

Sand Equivalent Test.

AASHO Desingnation : 176 - 56

Sample No	Sand Reading	Clay Reading	S.E. = $\frac{\text{Sand Readi} \times 100 \%}{\text{Clay Reading}}$
1	3.4	5.1	67 %
2	3.3	5.3	62 %
Average			65 %

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

กรมทางหลวง

เจ้าของตัวอย่าง หจก. กิจสินเลิศ

วันที่รับตัวอย่าง 11 ต.ค. 53 วันที่ทดลอง 12 ต.ค. 53

เจ้าหน้าที่ทดลอง

Source Hot Bin จาก Plant โรงโม่หิน ศิลา ยู.ดี อ.ทองแสนขัน จ.อุดรดิตถ์

Sample No of

Abrasion Test of Coarse Aggregate

by Los Angeles Machine

Material หิน 3/4 " Nominal size
Grading B Number of revolutions
Number of abrasive charges 11 Weight of charges gm.

Sieve size		Acounulative	
Passing	Retained on	Weight of sample	
3/4"	1/2"	2,500	gm.
1/2"	3/8"	2,500	gm.
Original weight of sample (W1)		5,000	gm.
Final weight of sample (W2)		3,850	gm.
Loss (W1 -W2)		1,150	gm.
Percentage of wear $\frac{(W1 -W2) \times 100 \%}{W1}$		23.0	%

Abrasion Test of Coarse Aggregate

Sand Equivalent Test.

AASHO Desingnation : 176 - 56

Sample No	Sand Reading	Clay Reading	S.E. = $\frac{\text{Sand Readi} \times 100 \%}{\text{Clay Reading}}$
1	3.4	5.1	67 %
2	3.3	5.3	62 %
Average			65 %

**สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
กรมทางหลวง**

เจ้าของตัวอย่าง หจก. กิจสินเลิศ

วันที่รับตัวอย่าง 11 ต.ค. 53 วันที่ทดลอง 12 ต.ค. 53

SIEVE ANALYSIS OF AGGREGATE

Material หินฝุ่น Sample No of
Source Cold Bin by โรงโมหิน ตีลา อ.ทองแสนขัน จ.อุดรดิตถ์

Sieve Sizes	First Trial			Second Trial			Average Passing
	Retained gm	Passing gm.	Passing %	Retained gm	Passing gm.	Passing %	
3/8 "	-	-	-	-	-	-	-
# 4	-	1158.2	100.0	-	1152.7	100.0	100.0
# 8	282.3	875.9	75.6	238.8	823.9	71.5	73.6
# 16	326.8	549.1	47.4	272.5	551.4	47.8	47.6
# 30	186.1	363.0	31.3	196.2	355.2	30.8	31.1
# 50	110.1	252.9	21.8	98.4	256.8	22.3	22.1
# 100	52.8	200.1	17.3	65.3	191.5	16.6	17.0
# 200	16.3	183.8	15.9	51.0	140.5	12.2	14.1
Pan	183.8	-	-	140.5	-	-	-

**สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
กรมทางหลวง**

เจ้าของตัวอย่าง หก. กิจสินเลิศ

วันที่รับตัวอย่าง 11 ต.ค. 53 วันที่ทดสอบ 12 ต.ค. 53

SIEVE ANALYSIS OF AGGREGATE

Material หิน 3/8 " Sample No of
Source Cold Bin by โรงโม่หิน สีลาบุรี อ.ทองแสนขัน จ.อุดรดิตถ์

Sieve Sizes	First Trial			Second Trial			Average Passing
	Retained gm	Passing gm.	Passing %	Retained gm	Passing gm.	Passing %	
1/2"	-	-	-	-	-	-	-
3/8"	-	1483	100.0	-	1865	100.0	100.0
#4	992	491	33.1	1326	539	28.9	31.0
# 8	447	44	3.0	480	59	3.2	3.1
# 16	10	34	2.3	5	54	2.9	2.6
Pan	34	-	-	54	-	-	-

**สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
กรมทางหลวง**

เจ้าของตัวอย่าง หก. กิ่งสินเหล็ก

วันที่รับตัวอย่าง 11 ต.ค. 53 วันที่ทดลอง 12 ต.ค. 53

SIEVE ANALYSIS OF AGGREGATE

Material หิน 1/2 " Sample No of
Source Cold Bin by โรงไม้หิน สีลา ยู.ดี อ.ทองแสนขัน จ.อุดรดิตถ์

Sieve Sizes	First Trial			Second Trial			Average Passing
	Retained gm	Passing gm.	Passing %	Retained gm	Passing gm.	Passing %	
1"	-	-	-	-	-	-	-
3/4"	-	2704	100.0	-	2800	100.0	100.0
1/2 "	230	2474	91.5	323	2477	88.5	90.0
3/8"	1860	614	22.7	1875	617	22.0	22.4
#4	610	4	0.1	612	5	0.2	0.1
# 8	1	3	0.1	1	4	0.1	0.1
Pan	3	-	-	4	-	-	-

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

กรมทางหลวง

เจ้าของตัวอย่าง หจก. กิจสำแลส

วันที่รับตัวอย่าง 11 ต.ค. 53 วันที่ทดลอง 12 ต.ค. 53

SIEVE ANALYSIS OF AGGREGATE

Material หิน 3/4 " Sample No of
Source Cold Bin by โรงม่หิน ต.ลาบู ต.อ.ทองแสนขัน จ.อุตรดิตถ์

Sieve Sizes	First Trial			Second Trial			Average Passing
	Retained gm	Passing gm.	Passing %	Retained gm	Passing gm.	Passing %	
3/4 "	230	5542	96.0	190	5721	96.8	96.4
1/2 "	5020	522	9.0	5227	494	8.4	8.7
3/8"	376	15	2.5	329	165	2.8	2.7
#4	55	91	1.6	31	134	2.3	1.9
Pan	91	-	-	134	-	-	-

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ

ชื่อ

นายณรงค์ฤทธิ์ พันธุ์

ภูมิลำเนา

161 หมู่ 4 ต.ท่าทอง อ. เมือง จ. พิจิตร 65000

ประวัติการศึกษา

-จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิจิตรพิทยาคม

-ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่4 สาขา วิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ

นางสาวปริษาณู ใหม่จันทร์

ภูมิลำเนา

5 หมู่ 13 ต.ศรีษะเกษ อ. นาน้อย จ. น่าน 55150

ประวัติการศึกษา

-จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสตรีศรีน่าน

-ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่4 สาขา วิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ

นายภัทร โชค อยู่สุข

ภูมิลำเนา

69/23 ถ.รักการดี ต. อุทัยใหม่ อ.เมือง จ.อุทัยธานี 61000

ประวัติการศึกษา

-จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอุทัยวิทยาคม

-ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่4 สาขา วิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร