

การเพิ่มประสิทธิภาพของการซึมผ่านน้ำของถนนแบบยืดหยุ่น

THE IMPROVEMENT OF PERMEABILITY FOR FLEXIBLE PAVEMENT



นิตินันท์ เหมนิธิ
Nithinan Hemnithi

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อม และการจัดการงานก่อสร้าง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2567

KMITL-2024-EN-M-xxx-xxx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE IMPROVEMENT OF PERMEABILITY FOR FLEXIBLE PAVEMENT



A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2024
KMUTL-2024-EN-M-047-196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพของการซึมผ่านน้ำของถนนแบบยืดหยุ่น
นักศึกษา	นายนิธินันท์ เหมนิธิ
รหัสประจำตัว	64601083
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อม และการจัดการงานก่อสร้าง
พ.ศ.	2567
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ปรีดา จตุรงศ์

บทคัดย่อ

ความชื้นเป็นปัญหาสำคัญบนผิวทางมาตรฐาน ทำให้ส่วนผสมของแอสฟัลต์เสื่อมสภาพเนื่องจากการซึมผ่านของน้ำไม่เพียงพอ ความล้มเหลวจากความเสียหายจากความชื้นมักเกิดจากการสะสมของฝนหรือการระบายน้ำที่ไม่ดี ซึ่งทำให้น้ำลดการยึดเกาะเนื่องจากการซึมระหว่างมวลรวมและยางมะตอย ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการซึมผ่านของน้ำและระยะความยาวสัมผัสของหินเชื่อว่าจะผูกพันกัน เพื่อประเมินประสิทธิภาพการซึมผ่านของน้ำและความเสียหายจากความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เภมท์การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตจึงถูกกำหนดขึ้นโดยใช้ระบบประมวลผลและวิเคราะห์ภาพ (IPAS2) เพื่อกำหนดความยาวสัมผัสรวม การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้การทดลองในห้องปฏิบัติการร่วมกับ IPAS2 เพื่อตรวจสอบส่วนผสมของแอสฟัลต์ที่มีปริมาณช่องว่างในอากาศที่เป็นไปตามมาตรฐานและคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ และประเมินความสัมพันธ์ของการซึมผ่านของน้ำกับปัจจัยอื่นๆ ผลการวิจัยพบว่าการผสม AC60/70, AC60/70+คาร์บอนแบล็ก และ AC60/70+SBS กับสารเติมพีทมะพร้าวมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำที่สุด (k) ในบรรดาสารผสมที่คล้ายกัน โดยมีค่า 0.056×10^{-5} ซม./วินาที 0.010×10^{-5} ซม./วินาที และ 1.508×10^{-5} ซม./วินาที ตามลำดับ ทั้งการไล่ระดับที่หนาแน่นและมีรูพรุนของสารยึดเกาะแอสฟัลต์ที่ได้รับการดัดแปลงแสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเชิงบวกระหว่าง TSR และความสามารถในการซึมผ่าน การศึกษานี้พบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่แข็งแกร่งระหว่าง TSR (อัตราส่วนความต้านทานแรงดึง) และ k (สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน) ในการไล่ระดับสารยึดเกาะแอสฟัลต์แบบดัดแปลงที่มีความหนาแน่นและมีรูพรุน โดยมีค่า R2 เท่ากับ 0.79 และ 0.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ นอกจากนี้ ผลลัพธ์จากการทดลองพบว่าจำนวนจุดสัมผัสและระยะความยาวสัมผัสของหินมีอิทธิพลอย่างมากต่อความสามารถของการซึมผ่านน้ำโดยโดยค่าสัมประสิทธิ์การเสียดลลยเท่ากับ 0.93

คำสำคัญ : การซึมผ่านของน้ำ, ผิวทางแอสฟัลท์, รูปแบบการอัดตัวของมวลรวม, ระยะการเชื่อมกันของมวลรวม, การวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์, การวิเคราะห์โดยกระบวนการรูปภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	THE IMPROVEMENT OF PERMEABILITY FOR FLEXIBLE PAVEMENT
Student	Mr.Nithinan Hemnithi
Student ID.	64601083
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2024
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Preeda Chaturabong

Abstract

Moisture is a significant problem in standard pavements, causing asphalt mixtures to deteriorate due to insufficient water permeability. This failure from moisture damage is often caused by precipitation accumulation or poor drainage, which allows water to weaken adhesion by seeping between the aggregates and the asphalt. The relationship between permeability and aggregate contact length is believed to be inverse. To effectively assess water permeability performance and moisture damage, an asphalt concrete design criterion was established using the Image Processing and Analysis System (IPAS) to determine aggregate contact lengths. The objective of this research was to use laboratory experiments in conjunction with IPAS to investigate air-void-controlled asphalt mixtures with various material properties and assess the correlation of water permeability with other factors. The results show that AC60/70, AC60/70+Carbon Black, and AC60/70+SBS combinations with coconut peat filler had the lowest permeability coefficient (k) among similar mixtures, with values of 0.056×10^{-5} cm/s, 0.010×10^{-5} cm/s, and 1.508×10^{-5} cm/s, respectively. Both the dense and porous gradations of the modified asphalt binder demonstrated positive linear relationships between TSR and permeability. This study found a strong linear relationship between TSR (tensile strength ratio) and k (permeability coefficient) in both dense and porous modified asphalt binder gradations, with R^2 values of 0.79 and 0.74, respectively. Additionally, we found that the number of contact points and contact length in the skeleton strongly influenced the mixes' permeability, with a linear trend of 0.93 for both indices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keyword: permeability; asphalt pavement; aggregate packing; aggregate's contact lengths; image processing analysis



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ต้องขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม(Fundamental Fund) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 และขอบคุณสถานที่ที่ให้การทดสอบคือ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปรีดา จาตุรพงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ซึ่งแรงช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ บริษัท ทีบีโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน) ที่ได้มอบอย่างมะตอยและสถานที่ เพื่อให้ข้าพเจ้าได้ใช้ในการทดลอง

สุดท้ายต้องขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาด้านการเงิน และให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา

นิตินันท์ เหมนิธิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	VII
Abstract	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญภาพ	XI
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2.....	3
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 นิยามของแอสฟัลท์ (Asphalt).....	3
2.1.1 แอสฟัลท์ซีเมนต์ (Asphalt cement).....	3
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลท์ (Asphalt Physical Properties)	4
2.2.1 ความทนทาน (Durability).....	4
2.2.2 การศึกษาพฤติกรรมการเสียรูปและการไหล (Rheology)	4
2.2.3 ความปลอดภัย (Safety)	4
2.2.4 ความบริสุทธิ์ (Purity)	4
2.3 ระบบการตัดเกรดของแอสฟัลท์ (Grading Systems).....	5
2.3.1 การตัดเกรดจากผลของการเจาะ (Penetration Grading).....	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การคัดเกรดจากผลของความหนืด (Viscosity Grading).....	5
2.3.3 ระบบการคัดเกรดแบบ Superpave (Superpave Performance Grading (PG) System).....	6
2.4 แอสฟัลท์ที่ได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติ (Asphalt Binder Modifiers).....	6
2.5 แอสฟัลท์รูปแบบอื่นที่ใช้ในการปูพื้น (Other Forms of Asphalt Used in Paving)	7
2.6 Asphalt Mixtures	8
2.7 ความไวต่อความชื้น (Moisture Susceptibility)	8
2.8 ความเสียหายจากความชื้น (Moisture Damage).....	9
2.9 อิทธิพลของความชื้นที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของผิวทาง (Moisture Effect on Pavement Performance).....	11
2.10 การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว (Failure).....	11
2.10.1 การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวภายในของแอสฟัลท์ (Loss of Cohesion).....	11
2.10.2 การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแอสฟัลท์กับผิวมวลรวม (Loss of Adhesion).....	12
2.11 การยึดเกาะระหว่างแอสฟัลท์และมวลรวม (Asphalt Binder and Aggregate Adhesion).....	13
2.11.1 เชิงกล (Mechanical).....	13
2.11.2 เชิงเคมี (Chemical).....	13
2.11.3 แรงยึดเกาะ (Adhesion Tension).....	13
2.11.4 การวางแนวของโมเลกุล (Molecular Orientation)	13
2.12 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสียหายของความชื้น (Factors Influencing Moisture Damage)	14
2.12.1 ลักษณะของแอสฟัลท์ (Asphalt Binder Characteristics).....	14
2.12.2 ลักษณะของมวลรวม (Aggregate Characteristics)	14
2.12.2.1 เคมีของพื้นผิว (Surface Chemistry)	14
2.12.2.2 รูพรุนและขนาดของรูพรุน (Porosity and Pore Size).....	14
2.12.3 ช่องว่างอากาศ (Air Voids).....	15
2.12.4 สภาพอากาศในการก่อสร้าง (Construction Weather).....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.5 ภูมิอากาศ (Climate).....	16
2.12.6 การจราจร (Traffic).....	16
2.12.6.1 แรงดันน้ำสะสม (Pore Pressure Buildup).....	16
2.12.6.2 การกัดเซาะของของเหลว (Hydraulic Scouring).....	16
2.13 มาตรการการป้องกัน (Preventive Measures).....	16
2.14 การทดสอบการต้านทานความชื้น	16
2.14.1 วิธีแรงดึงแบบทางอ้อม (Indirect Tensile Strength Test).....	16
2.15 การทดสอบการหาค่าการซึมผ่าน	17
2.15.1 การทดสอบการซึมผ่านโดยวิธีฟลอริดา (Florida Permeability Method).....	17
2.2 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	19
บทที่ 3	22
วิธีดำเนินการวิจัย	22
วิธีดำเนินการวิจัย	22
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	22
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	24
3.2 การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลท์คอนกรีต	27
3.3 การเตรียมตัวอย่างในการผสมมอดิไฟด์แอสฟัลท์คอนกรีต	28
3.4 การหาปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่เหมาะสม.....	30
3.5 วิธีดำเนินการวิจัย	36
3.6 การทดสอบหาค่าแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength Test).....	38
3.7 การใช้เครื่องมือ Florida permeator ในการหาการซึมผ่านของน้ำในแอสฟัลท์คอนกรีตการ ทดสอบหาค่าการซึมผ่านของน้ำ (Florida Permeator Test).....	39
3.8 การนำตัวอย่างมาทำการการวิเคราะห์ระยะเชื่อมต่อกันของ Aggregate เพื่อแสดงความสัมพันธ์กับ ผลรวมของระยะเชื่อมกันของมวลรวมโดยวิธี IPAS2	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4.....	45
ผลการทดลอง.....	45
4.1 การทดสอบหาค่า Air Voids	45
4.2 การทดสอบหาค่าแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength Test).....	52
4.3 Permeability.....	53
4.3 IPAS2.....	56
บทที่ 5.....	59
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอนแนะ	59
5.1 สรุปผลการทดลอง	59
เอกสารอ้างอิง.....	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1. ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของน้ำ (Temperatures Correction For Viscosity Of Water), Celsius	19
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	22
3.2 การออกแบบการทดลอง	23
3.3 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ใช้ (มาตรฐานที่ ทล.ม. 416/2556)	31
3.4 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณ โพลีเมอร์โมดิไฟด์แอสฟัลท์ ซีเมนต์ที่ใช้ (มาตรฐานที่ ทล.ม. 414/254254)	32
3.5 การออกแบบการทดลอง	36,39
4.1 การทดสอบหาค่า Air voids ชนิด Ac60-70	44
4.1.2 การทดสอบหาค่า Air voids ชนิด CB5	46
4.1.3 การทดสอบหาค่า Air voids ชนิด PMA	48
4.4.1 ผลการทดสอบ IPAS2 ชนิด Dense Graded	53
4.4.2 ผลการทดสอบ IPAS2 ชนิด Open Graded	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ทะเลสาบแอสฟัลท์.....	3
2.2 เครื่องทดสอบ Penetration.....	5
2.3 ผลที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการปรับคุณสมบัติด้วยสารปรับปรุงการหลุดร่อน.....	7
2.4 การแตก้าที่มีสาเหตุมาจากการหลุดร่อน.....	8
2.5 ตัวอย่าง HMA ที่ไม่มีความเสียหายจากความชื้น (ซ้าย) และความเสียหายจากความชื้น (ขวา) สังเกตปริมาณ มวล รวมที่ไม่ได้รับการ เคลือบผิวบนตัวอย่างที่เสียหาย.....	10
2.6 ตัวอย่าง HMA ที่ไม่มีความเสียหายจากความชื้น (ซ้าย) และความเสียหายจากความชื้น (ขวา)	10
2.7 เครื่องมือสำหรับทดสอบ Indirect Tensile Strength	17
2.8 เครื่องมือสำหรับทดสอบ Florida Permeator	18
2.9 เครื่องมือสำหรับทดสอบ Florida Permeator	18
3.1 รูป(ซ้าย)กากอ้อย (ขวา)ขุยมะพร้าว	23
3.1.2 กากอ้อยและขุยมะพร้าวที่ถูกปั่นละเอียดเพื่อนำไปกรองผ่านตะแกรงเบอร์ 200	24
3.1.3 แบบสำหรับบดอัด ค้อน และแท่นรอง	25
3.1.4 Indirect Tensile Strength Testing Machine	26
3.1.5 Florida Permeator	26
3.2.1 เครื่องเขย่าตะแกรง (Sieve Shaker)	27
3.2.2 ภาชนะใส่หินแต่ละขนาด	27
3.3.1 การอบยางมะตอยในตู้อบ	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3.2 การผสมยางมะตอยกับผง	28
3.3.3 การผสมยางมะตอยกับผง	29
3.3.4 ตัวอย่างภาชนะเก็บตัวอย่างการทดลอง	29
3.4.1 แบบสำหรับบดอัด(Compaction Mold)	30
3.4.2 วัสดุมวลรวมที่จัดเตรียมไว้ก่อนเข้าตู้อบ	33
3.4.3 การผสมยางมะตอยกับวัสดุมวลรวม	33
3.4.4 การเกลี่ย แอสฟัลท์คอนกรีต	34
3.4.5 การบดอัด แอสฟัลท์คอนกรีต	34
3.4.6 การนำตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตออกจากแบบบดอัด	34
3.5.1 การกระจายมวลรวม Dense Graded	35
3.5.2 การกระจายมวลรวมของการทดลอง Open Graded	36
3.6 1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	38
3.6.2 การกระจายมวลรวมของการทดลอง	38
3.6.2 การกระจายมวลรวมของการทดลอง	39
3.71 การคำนวณ Digital image โดยใช้เมทริกซ์ในโปรแกรม MATLAB (Roohi,2012)	40
3.72 การคำนวณ Digital image โดยใช้ โปรแกรม IPAS	41
3.73 การประมวลผลในโปรแกรม IPAS ตัวอย่างการประมวลผล	42
4.2.1 ค่า TSR ของแต่ละชนิดของยางมะตอย	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลของน้ำในแอสฟัลท์คอนกรีตแบบทั่วไป	51
4.3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลของน้ำใน แอสฟัลท์คอนกรีตแบบมีรูพรุน (Porous Asphalt)	52
4.4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัว Contact length และ ค่าการซึมผ่านของน้ำของ ฝุ่นทั้ง 3 ชนิด โดยชนิดน้ำยางมะตอย 60/70 ที่ได้นำข้อมูลจากโปรแกรม IPAS2	53
4.4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัว Contact length และ ค่าการซึมผ่านของน้ำของ ฝุ่นทั้ง 3 ชนิดโดยชนิดน้ำยางมะตอย CB5 ที่ได้นำข้อมูลจากโปรแกรม IPAS2	54
4.4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัว Contact length และ ค่าการซึมผ่านของน้ำของ ฝุ่นทั้ง 3 ชนิด โดยชนิดน้ำยางมะตอย PMA ที่ได้นำข้อมูลจากโปรแกรม IPAS2	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

สำหรับชั้นผิวทางของถนนโดยปกติเป็นผิวทางแบบแอสฟัลท์โดยความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความเสียหายของผิวทางแอสฟัลท์ กลไกหลักที่ทำให้แอสฟัลท์สูญเสียประสิทธิภาพในการใช้งานมีสาเหตุหลัก คือ การสูญเสียการยึดเกาะระหว่างแอสฟัลท์และ ผิวของมวล หรือการสูญเสียการยึดเกาะของแอสฟัลท์ปัญหาดังกล่าวเกิดจากปัจจัยทางด้าน ความชื้นซึ่งเป็นผลมาจากการซึมผ่านของน้ำไม่เพียงพอ โดยส่วนใหญ่เกิดจากน้ำที่ขังเนื่องจากฝนหรือการระบายน้ำในบริเวณนั้น ไม่มีประสิทธิภาพทำให้น้ำแทรกเข้าไปในช่องว่างของแอสฟัลท์กับมวลรวมและทำให้การยึดเกาะของแอสฟัลท์เสื่อมลง อีกปัจจัยหนึ่งคือการเพิ่มขึ้นของ ช่องว่างอากาศ (Airvoid) ในแอสฟัลท์คอนกรีตซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการซึมผ่านของน้ำ (permeability) ในอดีตได้มีการศึกษาการวัดการซึมผ่าน ของน้ำในแอสฟัลท์คอนกรีต (Masad et al.2006) โดยการศึกษาที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของผิวถนนที่มีผลต่อการซึมผ่านของน้ำในแอสฟัลท์ คอนกรีตโดยวิธีสมการอย่างง่าย แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวไม่ได้แสดงถึงพฤติกรรมของการซึมผ่านของน้ำของแอสฟัลท์คอนกรีตซึ่งอาจจะเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างอากาศและการซึมผ่านของน้ำในแอสฟัลท์คอนกรีตซึ่งช่องว่างอากาศในแอสฟัลท์คอนกรีตนั้นยังขึ้นอยู่กับรูปแบบการอัดตัวของมวลรวม (Aggregate packing) ของแอสฟัลท์คอนกรีตโดยมีการศึกษาวิจัยในอดีตที่ให้ความสำคัญกับรูปแบบการอัดตัวของมวลรวม ในแอสฟัลท์คอนกรีต คือการศึกษาของ Roohi และคณะ ในปี 2012 ได้ศึกษารูปแบบการอัดตัวของมวลรวมโดยซอฟต์แวร์ที่เรียกว่า Image Processing Analysis Software (IPAS) ซึ่งผลการศึกษพบว่ารูปแบบการอัดตัวของมวลรวมของแอสฟัลท์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นเท่ากัน (โดยประเมินจากอัตราส่วนระหว่างช่องว่างอากาศ)แต่มีความแตกต่างกันในการเรียงตัวของมวลรวมก่อให้เกิดผลรวมของระยะเชื่อมกันของมวลรวม(Aggregate contact lengths) ที่ต่างกันอย่างมาก และมีผลต่อประสิทธิภาพการหลุดล่อนของแอสฟัลท์คอนกรีต

มีการตั้งสมมติฐานว่าความสามารถในการซึมผ่านมีความสัมพันธ์ผกผันกับผลรวมของความยาวสัมผัสผกผันของการออกแบบแอสฟัลท์คอนกรีตที่มีประสิทธิภาพเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ผลรวมของความยาวสัมผัสผกผันโดยใช้ IPASเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการซึมผ่านของน้ำและความเสียหายจากความชื้นอย่างไรก็ตาม,การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเชิงโครงสร้างของการจัดแนวรวมและความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในระบบที่มีช่องว่างอากาศคล้ายกันไม่ประสบผลสำเร็จ เป้าหมายของการวิจัยนี้คือการตรวจสอบส่วนผสมของแอสฟัลท์ที่ควบคุมด้วยอากาศโดยใช้คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ (เช่นประเภทของตัวเติม ประเภทของแอสฟัลท์ และการไล่ระดับ) อย่างไรก็ตามเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลรวม)ผ่านการทดลองในห้องปฏิบัติการร่วมกับ IPAS เพื่อประเมินความสัมพันธ์ของการซึมผ่านของน้ำกับปัจจัยอื่นๆ .

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำผ่านวัสดุชั้นผิวทางแอสฟัลท์ (Asphalt) โดยใช้ฝุ่นหินปูน, กากอ้อย และขุยมะพร้าวเป็นส่วนประกอบเพื่อนำไปวิเคราะห์และสามารถนำไปใช้ประเมินผลกระทบจากปัญหาการร่อนและการทรุดตัวของถนนเนื่องจากน้ำท่วมขังหรือฝนที่ตกได้

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการเรียงตัวของมวลรวมต่อการซึมผ่านของน้ำวัสดุชั้นผิวทางแอสฟัลท์ (Asphalt pavement)

1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับการออกแบบชั้นผิวทางโดยพิจารณาจากปัจจัยการซึมผ่านของน้ำและความสัมพันธ์ของปัจจัยอื่นต่อความสามารถของการซึมผ่านของน้ำเป็นหลัก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ภายในแอสฟัลท์คอนกรีตกับความสามารถในการซึมผ่านน้ำของชั้นผิวทางเท่านั้น

1.3.2 ดำเนินการทดสอบวัสดุ (ชนิดแอสฟัลท์ และมวลรวม) ที่มีอยู่ในประเทศไทยเท่านั้น

1.3.3 การออกแบบการใช้วัสดุมวลรวมจะแบ่งออกเป็น 2 แบบเท่านั้น ได้แก่ แอสฟัลท์คอนกรีตแบบทั่วไป (3-5% Air void) และแอสฟัลท์คอนกรีตแบบมีรูพรุน (16-21% Air void)

1.3.4 การประเมินประสิทธิภาพในการศึกษาของชั้นผิวทางพิจารณาความความแข็งแรงและค่าการทรุดตัวเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 การวิจัยช่วยให้ทราบว่าฝุ่นจากกากอ้อยและขุยมะพร้าวที่มาจากธรรมชาติมีประสิทธิภาพในการซึมผ่านของน้ำให้กับแอสฟัลท์คอนกรีต

1.4.2 เป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อหาปริมาณฝุ่นจากกากอ้อยและขุยมะพร้าวที่เหมาะสมที่สามารถใช้เป็นวัสดุทางเลือกจะช่วยเพิ่มการต้านทานความเสียหายให้กับแอสฟัลท์คอนกรีต

1.4.3 การวิจัยช่วยให้ทราบว่าเครื่องมือทดสอบการซึมผ่าน (Permeator) นั้นมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบการซึมผ่านของน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามของแอสฟัลท์ (Asphalt)

แอสฟัลท์มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีความหนืดสูงที่ผลิตจากการกลั่นปิโตรเลียม การกลั่นนี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติส่งผลให้เกิดทะเลสาบแอสฟัลท์หรือเกิดขึ้นในโรงกลั่นปิโตรเลียมโดยใช้น้ำมันดิบใน Hot Mix Asphalt (HMA) แอสฟัลท์ทำหน้าที่เป็นกาวกันน้ำ เทอร์โมพลาสติก วิสโคอีลาสติก โดยน้ำหนักแอสฟัลท์คิดเป็นสัดส่วนระหว่าง 4 ถึง 8 เปอร์เซ็นต์ของ HMA และคิดเป็น 25 - 30 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายของโครงสร้างทางเดิน HMA ขึ้นอยู่กับประเภทและปริมาณ อุตสาหกรรมการปูพื้นยังใช้อิมัลชันแอสฟัลท์, แอสฟัลท์ซีเมนต์และแอสฟัลท์โพน



รูปที่ 2.1 ทะเลสาบแอสฟัลท์

2.1.1 แอสฟัลท์ซีเมนต์ (Asphalt cement)

แอสฟัลท์ซีเมนต์ หมายถึงแอสฟัลท์ที่เตรียมไว้สำหรับการใช้งานใน HMA และการปูผิวทางอื่น ๆ ส่วนนี้ใช้คำทั่วไป “asphalt binder” เพื่อเป็นตัวแทนสารยึดหลักใน HMA เพราะ asphalt binder นั้นคือแอสฟัลท์ซีเมนต์รวมถึงวัสดุใด ๆ ที่ถูกเพิ่มเข้ามาเพื่อดัดแปลงคุณสมบัติแอสฟัลท์ซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลท์ (Asphalt Physical Properties)

แอสฟัลท์สามารถจำแนกตามองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ โดยทั่วไปอุตสาหกรรมการปูผิวทางจะอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพสำหรับการจำแนกลักษณะของประสิทธิภาพแม้ว่าคุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลท์จะเป็นผลโดยตรงจากองค์ประกอบทางเคมี โดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญที่สุดคือ

2.2.1 ความทนทาน (Durability)

ความทนทานเป็นเครื่องวัดว่าคุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลท์จะเปลี่ยนแปลงไปตามอายุได้อย่างไร โดยทั่วไปเมื่อแอสฟัลท์เป็นสารยึดเกาะอายุมากขึ้น ความหนืดจะเพิ่มขึ้น จะแข็งและเปราะมากขึ้น

2.2.2 การศึกษาพฤติกรรมและการไหล (Rheology)

การเสีรูปร่างและการไหลของสารยึดเกาะแอสฟัลท์ใน HMA มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการปูผิวทาง HMA ที่ทำให้เสีรูปร่างและไหลมากเกินไปอาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดร่องล้อและการยึดของแอสฟัลท์ขณะที่ส่วนที่แข็งเกินไปอาจไวต่อการล้า การเปลี่ยนรูปร่าง HMA นั้นสัมพันธ์กับการไหลของแอสฟัลท์ คุณสมบัติการไหลของสารยึดเกาะแอสฟัลท์มีความแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิ อย่างแรกเพื่อระบุลักษณะของสารยึดเกาะแอสฟัลท์อย่างเต็มรูปแบบคุณสมบัติการไหลของแอสฟัลท์จะต้องถูกตรวจสอบในช่วงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นได้ขณะใช้งาน ประการที่สองในการเปรียบเทียบสารยึดเกาะแอสฟัลท์ที่แตกต่างกันคุณสมบัติการไหลจะต้องถูกวัดที่อุณหภูมิอ้างอิงเดียวกัน

2.2.3 ความปลอดภัย (Safety)

แอสฟัลท์ซีเมนต์คล้ายกับวัสดุอื่นๆ คือจะระเหย (ไอ) เมื่อถูกความร้อน ที่อุณหภูมิสูงมาก แอสฟัลท์ซีเมนต์สามารถปล่อยไอน้ำมากพอที่จะเพิ่มความเข้มข้นที่ระเหยได้ทันทีเหนือแอสฟัลท์ซีเมนต์จนถึงจุดที่จะติดไฟเมื่อสัมผัสกับประกายไฟหรือเปิดเปลวไฟ สิ่งนี้เรียกว่าจุดวาบไฟด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัยจุดวาบไฟของแอสฟัลท์ซีเมนต์ต้องได้รับการทดสอบและควบคุม

2.2.4 ความบริสุทธิ์ (Purity)

แอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ใช้ในการปูผิวทาง HMA ควรประกอบด้วยบิทูเมนเกือบบริสุทธิ์เพราะสิ่งสกปรกนั้นไม่ได้เป็นองค์ประกอบของการเชื่อมประสานและอาจเป็นอันตรายต่อประสิทธิภาพของยางมะตอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ระบบการคัดเกรดของแอสฟัลท์ (Grading Systems)

แอสฟัลท์มักถูกจัดประเภทตามระบบคัดเกรดอย่างน้อยหนึ่งแบบตามลักษณะทางกายภาพ ระบบเหล่านี้มีตั้งแต่ตั้งแต่ง่ายไปจนถึงซับซ้อนและแสดงถึงวิวัฒนาการในความสามารถในการระบุลักษณะของแอสฟัลท์ วันนี้หน่วยงานของรัฐส่วนใหญ่ใช้หรือกำลังวางแผนที่จะเปลี่ยนไปใช้ระบบการคัดเกรดแบบ Superpave Performance Grading

2.3.1 การคัดเกรดจากผลของการเจาะ (Penetration Grading)

การคัดเกรดโดยการเจาะ ขึ้นอยู่กับความลึกเข็มมาตรฐานที่ใช้เจาะตัวอย่างแอสฟัลท์ เมื่อวางไว้ใต้โหลด 100 กรัมเป็นเวลา 5 วินาที (ดูรูปที่ 2.2) การทดสอบนั้นง่ายและใช้งานง่าย แต่ไม่ได้วัดพารามิเตอร์พื้นฐานใด ๆ และสามารถระบุลักษณะแอสฟัลท์ได้ที่อุณหภูมิหนึ่ง (77 ° F) ค่าของการเจาะจะแสดงเป็นช่วงของหน่วยการเจาะ (หนึ่งหน่วยการเจาะ = 0.1 มม. ของการเจาะโดยเข็มมาตรฐาน) แอสฟัลท์แบบทั่วไปที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาคือ 65-70 pen และ 85-100 pen สำหรับแอสฟัลท์ที่ใช้ในไทยโดยทั่วไปคือ 60-70 pen



รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบ Penetration

2.3.2 การคัดเกรดจากผลของความหนืด (Viscosity Grading)

ทำการวัดการเจาะ (เช่นเดียวกับการคัดเกรดจากผลของการเจาะ) แต่ยังวัดความหนืดของแอสฟัลท์ที่อุณหภูมิ 140 ° F และ 275 ° F การทดสอบสามารถทำได้บนวัสดุบริสุทธิ์ (AC) หรือแอสฟัลท์ที่มีอายุ (AR) เกรดมีการระบุไว้ดังนี้ (cm-g-s = dyne-second / cm²) หรือหารด้วย 10 แอสฟัลท์ทั่วไปที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาคือ AC-ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10, AC-20, AC-30, AR-4000 และ AR-8000 การคัดเกรดจากผลของความหนืดเป็นระบบคัดเกรดที่ดีกว่า แต่ไม่ได้ทดสอบการไหลของแอสฟัลท์ที่อุณหภูมิต่ำ

2.3.3 ระบบการคัดเกรดแบบ Superpave (Superpave Performance Grading (PG) System)

ระบบ Superpave PG ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการวิจัย เพื่อเพิ่มความแม่นยำของแอสฟัลท์สำหรับการปูผิวทาง ระบบ PG ขึ้นอยู่กับความคิดที่ว่าคุณสมบัติแอสฟัลท์ของ HMA ควรเกี่ยวข้องกับเงื่อนไขภายใต้การใช้งาน สำหรับแอสฟัลท์สิ่งนี้เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศที่คาดการณ์รวมถึงการพิจารณาอายุการใช้งาน ดังนั้นระบบ PG ใช้บอกอายุการใช้งานโดยทั่วไปในการทดสอบ(การคัดเกรดจากผลของการเจาะและการคัดเกรดจากผลของความหนืด) แต่ระบุว่าแอสฟัลท์ต้องผ่านการทดสอบเหล่านี้ที่อุณหภูมิเฉพาะที่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศเฉพาะในพื้นที่ที่ต้องการใช้ ดังนั้นแอสฟัลท์ที่ใช้ใน ฮาวาย จะแตกต่างจากที่ใช้ในอะลาสกา

มีการรายงานการจัดระดับประสิทธิภาพการทำงานแบบ Superpave โดยใช้ตัวเลขสองตัวคืออันดับแรกคืออุณหภูมิผิวทางสูงสุดเฉลี่ยเจ็ดวันในหนึ่งปี (เป็น ° C) และอันดับที่สองเป็นอุณหภูมิการออกแบบผิวทางขั้นต่ำที่น่าจะเกิดขึ้น (° C) ดังนั้น PG 64-16 มีไว้สำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิผิวทางสูงสุดเฉลี่ยเจ็ดวันคือ 64 ° C และอุณหภูมิผิวทางขั้นต่ำที่คาดไว้คือ -16 ° C ขอให้สังเกตว่าตัวเลขเหล่านี้ว่าเป็นอุณหภูมิผิวทางไม่ใช่อุณหภูมิของอากาศ เกรด PG ทั่วไปที่ใช้ใน Hawaii คือ PG 64-16 อุณหภูมิของผิวทางใน Hawaii จะไม่ลดลงถึง -16 ° C แต่แอสฟัลท์ที่ใช้งานทั่วไปจะมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานนี้ ดังนั้นจึงมีการจัดเกรดเช่นนี้

2.4 แอสฟัลท์ที่ได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติ (Asphalt Binder Modifiers)

แอสฟัลท์ซีเมนต์บางตัวต้องมีการปรับเปลี่ยนเพื่อให้คุณสมบัติตรงตามข้อกำหนด การดัดแปลงแอสฟัลท์ซีเมนต์มีมานานกว่า 50 ปีแล้ว แต่ได้รับความสนใจอย่างมากในทศวรรษที่ผ่านมา วันนี้มีสารเติมแต่งแอสฟัลท์จำนวนมากที่มีอยู่ในตลาด ประโยชน์ของแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่แก้ไขได้โดยการเลือกตัวปรับที่เหมาะสม ไม่ใช่ปรับปรุงคุณสมบัติทั้งหมด โดยทั่วไปแอสฟัลท์ซีเมนต์ควรได้รับการแก้ไขเพื่อให้เกิดการปรับปรุงประเภทต่อไปนี้

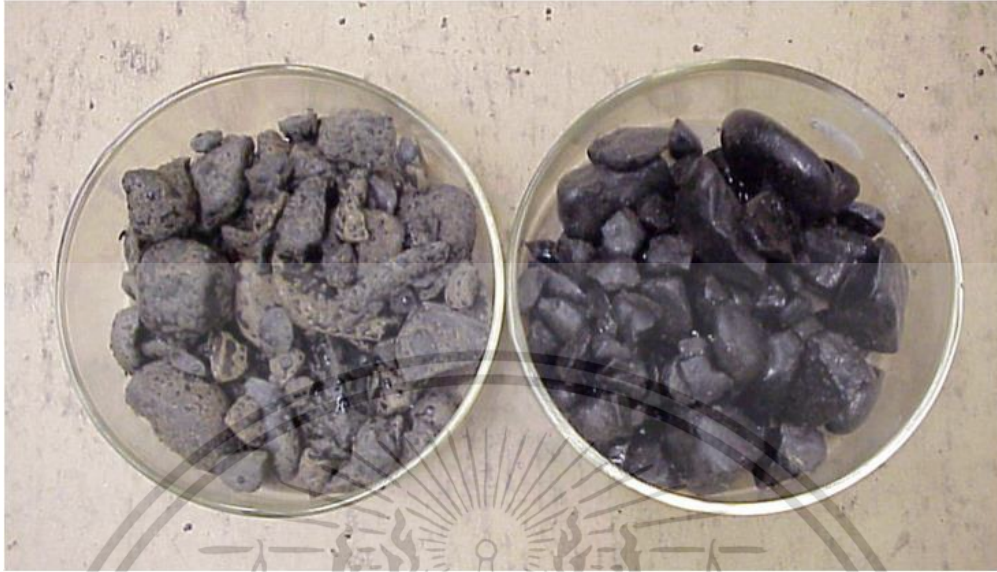
- ความแข็งแรงลดลง (หรือความหนืด) ที่อุณหภูมิสูง สิ่งนี้อำนวยความสะดวกในการไหลของแอสฟัลท์เหลวรวมถึงการผสมและการบดอัดของ HMA
- ความแข็งแรงสูงที่อุณหภูมิสูง สิ่งนี้จะช่วยลดการ rutting และ shoving
- ความแข็งแรงลดลงและคุณสมบัติการคลายความเครียดที่เร็วขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ สิ่งนี้จะลดการแตกร้าวจากความร้อน
- เพิ่มการยึดเกาะระหว่างแอสฟัลท์และมวลรวมเมื่อได้รับความชื้น สิ่งนี้จะลดโอกาสในการหลุดร่อน

รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างแอสฟัลท์ซีเมนต์รวมสองตัวอย่างจากแหล่งเดียวกันหลังจากเคลือบด้วยแอสฟัลท์ ซึ่งแอสฟัลท์ที่ใช้กับตัวอย่างทางด้านซ้ายไม่มีตัวต่อต้านการหลุดร่อนซึ่งทำให้ไม่มีการยึดเกาะระหว่างแอสฟัลท์กับมวลรวม สารยึดเกาะแอสฟัลท์ที่ใช้กับตัวอย่างทางด้านขวาประกอบด้วย 0.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(โดยน้ำหนักของแอสฟัลท์) ของสารป้องกันการหลุดร่อนซึ่งส่งผลให้เกิดการยึดเกาะของแอสฟัลท์กับมวลรวมที่ดี



รูปที่ 2.3 ผลที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการปรับคุณสมบัติด้วยสารปรับปรุงการหลุดร่อน

2.5 แอสฟัลท์รูปแบบอื่นที่ใช้ในงานทาง (Other Forms of Asphalt Used in Paving)

นอกเหนือจากแอสฟัลท์ซีเมนต์แอสฟัลท์รูปแบบอื่น ๆ อีกสามรูปแบบถูกนำมาใช้อย่างเด่นชัดในอุตสาหกรรมการปูพื้น

- Emulsified asphalt แอสฟัลท์อิมัลชันเป็นสารแขวนลอยของแอสฟัลท์ซีเมนต์ขนาดเล็กในน้ำซึ่งมีส่วนผสมจากสารที่ทำให้เกิดการระเหย (เช่นสบู่) แอสฟัลท์อิมัลชันมีความหนืดต่ำกว่าแอสฟัลท์ (ธรรมดา) และสามารถใช้งานได้ใ้ในอุณหภูมิต่ำ หลังจากที่ใช้อิมัลชัน น้ำจะระเหยออกไปและเหลือเพียงแอสฟัลท์ซีเมนต์เท่านั้น อิมัลชันมักถูกใช้เป็นตัว prime coats and tack coats
- Cutback asphalt เป็นการผสมผสานระหว่างแอสฟัลท์ซีเมนต์และตัวทำละลายปิโตรเลียม เช่นเดียวกับอิมัลชันมีการใช้งาน Cutback asphalt เนื่องจากความหนืดต่ำกว่าอย่างมาดและสามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ หลังจากการใช้งาน Cutback กับตัวทำละลายจะระเหยออกไปและเหลือเพียงแอสฟัลท์ซีเมนต์เท่านั้น การใช้ Cutback เป็นเรื่องธรรมดาที่น้อยลงในปัจจุบันเนื่องจากตัวทำละลายปิโตรเลียมมีราคาแพงกว่าน้ำ โดยทั่วไปแล้ว Cutback จะใช้ prime coats and tack coats
- Foamed asphalt โฟมแอสฟัลท์เกิดขึ้นจากการรวมแอสฟัลท์ร้อนกับน้ำเย็นจำนวนเล็กน้อย เมื่อน้ำเย็นสัมผัสกับยางมะตอยร้อนจะเปลี่ยนเป็นไอน้ำซึ่งกลายเป็นฟองเล็ก ๆ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือโฟมแอสฟัลท์แบบฟิล์มบางในปริมาณสูง สถานะโฟมปริมาณสูงนี้ใช้เวลาเพียงไม่กี่นาทีหลังจากนั้นแอสฟัลท์จะกลับมามีคุณสมบัติเดิม แอสฟัลท์โฟมสามารถใช้เป็นสารยึดเกาะในการรักษาเสถียรภาพของดินหรือฐานราก และมักจะถูกใช้เป็นสารสร้างเสถียรภาพในการรีไซเคิลในสถานที่แบบเย็น (CIPR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การผสมยางมะตอย (Asphalt mixtures)

ฝุ่น (Filler) ทำให้ความสม่ำเสมอและความแข็งแรงกับ mastic และทำให้ asphalt mixture เกิดความเสถียรโดยการเติมเต็มช่องว่างของส่วนผสมของคอนกรีตซึ่งเป็นตัวเพิ่มความหนาแน่นให้กับ mixture ชั้นตอนในแลบในการหาความถ่วงจำเพาะสูงสุดตามทฤษฎีของ asphalt mixture ถูกพัฒนาโดย James Rice ดังนั้นชั้นตอนนี้จึงเรียกกันว่าความหนาแน่น Rice ในตำราอเมริกัน วิธีทั่วไปในการแทนค่าความหนาแน่นสูงสุดจากความถ่วงจำเพาะสูงสุดตามทฤษฎีคือใช้สัญลักษณ์ G_{mm} สัญลักษณ์นี้อาจทำให้เกิดการเข้าใจผิดได้เนื่องจากค่าที่คำนวณออกมาได้นั้นเป็นค่าของความหนาแน่นไม่ใช่ความถ่วง

2.7 ความไวต่อความชื้น (Moisture Susceptibility)

ความไวต่อความชื้นเป็นสาเหตุหลักของความเสียหายในผิวทางแบบ HMA และ HMA อาจถูกพิจารณาว่าไวต่อความชื้น หากการยึดเกาะระหว่างแอสฟัลท์กับมวลรวมอ่อนตัวในที่ที่มีน้ำ การอ่อนตัวนี้หากรุนแรงเพียงพออาจส่งผลให้เกิดการหลุดร่อน (รูปที่ 2.4) ในการวัดว่าโอกาสที่จะเกิดความเสียหายต่อความชื้นของสารผสม HMA สามารถทำการทดสอบความไวต่อความชื้นได้ ผลจากการทดสอบความไวต่อความชื้นอาจใช้ในการทำนายศักยภาพในการหลุดร่อนในระยะยาวและประเมินสารป้องกันการหลุดร่อนซึ่งเพิ่มลงในแอสฟัลท์รวมหรือ HMA เพื่อป้องกันการหลุดร่อน



รูปที่ 2.4 การแตกล้าที่มีสาเหตุมาจากการหลุดร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ความเสียหายจากความชื้น (Moisture damage)

เป็นที่ทราบกันมานานแล้วว่าอัตราการเสียหายของผิวทางแอสฟัลท์อาจเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อน้ำสามารถเข้าสู่ผิวทางได้ ในบางกรณีการเสียหายนั้นรวมถึงแยกออกจากกันของส่วนผสมแอสฟัลท์ภายในเวลาไม่กี่ปีหลังจากการก่อสร้าง (Parr 1958, Sha 1999)

ความเสียหายจากความชื้นเป็นผลมาจากการเสื่อมสภาพของส่วนผสมแอสฟัลท์โดยการสูญเสียการยึดเกาะระหว่างแอสฟัลท์และพื้นผิวมวลรวมและ / หรือการสูญเสียการเกาะกลุ่มกันภายในตัวแอสฟัลท์เนื่องจากการกระทำของน้ำ ความเสียหายจากความชื้นมักส่งผลกระทบต่อความสมบูรณ์ของการผสมดังนั้นจึงสามารถลดอายุการใช้งานของผิวทางได้โดยการเร่งความเร็วทุกปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบผิวทางรวมถึง การแตกร้าว การล้า การเปลี่ยนรูปแบบถาวร และการแตกร้าวด้วยความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตแอสฟัลท์ ในบางกรณีความชื้นอาจทำให้ส่วนผสมของแอสฟัลท์อ่อนตัวลงโดยการทำให้ฟิล์มแอสฟัลท์อ่อนตัวลงหรืออ่อนตัวลงบางส่วนโดยไม่ได้หลุดร่อนออกจากพื้นผิวของมวลรวม การสูญเสียความแข็งหรือความแข็งแรงที่เกิดขึ้นนั้นสามารถย้อนกลับได้เมื่อน้ำถูกนำออกจากส่วนผสม (Santucci 2002) อย่างไรก็ตามถ้าผิวทางได้รับแรงกระทำในขณะที่อ่อนตัวอาจทำให้ไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้

ความเสียหายจากความชื้นในถนนคอนกรีตแอสฟัลท์เป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนได้รับผลกระทบจากปัจจัยหลายประการรวมถึงคุณสมบัติของวัสดุองค์ประกอบของส่วนผสม สภาพการระบายน้ำของผิวทาง แรงกระทำเนื่องจากการจราจรและลักษณะสภาพแวดล้อม เงื่อนไขที่จำเป็นอันดับแรกสำหรับความเสียหายจากความชื้นคือการเข้าสู่คอนกรีตแอสฟัลท์ของความชื้น หากความชื้นไม่สามารถซึมผ่านของแอสฟัลท์คอนกรีตได้ ความเสียหายจากความชื้นจะเกิดขึ้นน้อยมากยกเว้นพื้นผิวที่ขรุขระ ในความเป็นจริงแล้วช่องว่างอากาศนั้นมีอยู่ในทุกพื้นผิวแอสฟัลท์แม้กระทั่งส่วนผสมที่สร้างด้วยส่วนผสมพิเศษเช่น Gussasphalt (Huang และ Qian 2001) ความคิดร่วมสมัยคือต้องมีช่องว่างหรืออย่างน้อยก็หลีกเลี่ยงไม่ได้สำหรับการผสมที่จะไม่มีการเสีรูปลถาวรที่ยอมรับไม่ได้ภายใต้การจราจรที่อุณหภูมิสูงและไม่ให้เกิดการ “ เยิ้ม ” ขึ้นที่พื้นผิว ซึ่งทั้งสองอย่างนี้ทำให้เกิดปัญหาด้านความปลอดภัย (Terrel et al. 1994) สำหรับการผสมแบบทั่วไปจะมีการเกิดร่องและการเยิ้มของแอสฟัลท์หากปริมาณช่องว่างอากาศน้อยกว่าร้อยละสาม

ในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไปส่วนผสมที่จะถูกออกแบบที่ปริมาณช่องว่างในอากาศ 4% แต่ปริมาณช่องว่างในอากาศจริงมักจะอยู่ในช่วงระหว่าง 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ที่แนะนำโดย Terrel et al (1994). เนื่องจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการชี้ให้เห็นว่าในช่วงนี้ช่องว่างอากาศจะกลายเป็นช่องว่างระหว่างกันและความชื้นสามารถไหลออกมาได้ง่าย ในขณะที่ปริมาณอากาศช่วงที่ต่ำกว่านี้ช่องอากาศจะถูกตัดการเชื่อมต่อทำให้น้ำสามารถเข้าสู่ช่องว่าง แต่ไม่สามารถหลบหนีได้อย่างอิสระ ช่องว่างเหล่านี้เป็นช่องทางสำคัญในการเข้าถึงน้ำซึ่งอาจมาจาก น้ำฝน น้ำซังหรือน้ำใต้ดินเพื่อเข้าสู่แอสฟัลท์คอนกรีต ช่องว่างในมวลรวมอาจดักจับความชื้นบางส่วนในระหว่างการก่อสร้างเนื่องจากการอบแห้งที่ไม่สมบูรณ์โดยเฉพาะในโรงงานที่ใช้เครื่องผสมแบบดรัม นอกจากนี้ น้ำบางส่วนอาจสามารถซึมผ่านเข้าไปในแอสฟัลท์ได้ (Nguyen et al. 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเสียหายจากความชื้นเป็นผลมาจากการมีปฏิกิริยาของการยึดเกาะระหว่างแอสฟัลท์กับมวลรวมภายในส่วนผสม HMA ปฏิกิริยานี้สามารถทำให้การยึดเกาะระหว่างแอสฟัลท์กับมวลรวมลดลง (รูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6) เรียกว่าการหลุดร่อนซึ่งจะนำไปสู่รูปแบบต่างๆของความเสียหายบนผิวทาง HMA รวมถึงรอยแตกและความล้า

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการใช้การทดสอบหลายแบบเพื่อประเมินความเสี่ยงต่อความชื้นที่เกิดจากส่วนผสมของ HMA การทดสอบเหล่านี้มีตั้งแต่แบบง่าย ๆ (เช่น boiling test) จนถึงการทดสอบที่ซับซ้อนมากขึ้น (เช่น Hamburg wheel tracking test) การทดสอบความไวต่อความชื้นที่ระบุโดยการออกแบบผสม Superpave เรียกว่า Modified Lottman Test



รูปที่ 2.5 ตัวอย่าง HMA ที่ไม่มีความเสียหายจากความชื้น (ซ้าย) และความเสียหายจากความชื้น (ขวา) สังเกตปริมาณมวลรวมที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวบนตัวอย่างที่เสียหาย

รูปที่ 2.6 ตัวอย่าง HMA ที่ไม่มีความเสียหายจากความชื้น (ซ้าย) และความเสียหายจากความชื้น (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 อิทธิพลของความชื้นที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของผิวทาง (Moisture Effect on Pavement Performance)

ผลโดยตรงของความชื้นคือการอ่อนตัวหรือสูญเสียความแข็งแรงของพันธะภายในแอสฟัลท์และความแข็งแรงของส่วนผสม ซึ่งเป็นพื้นฐานของประสิทธิภาพที่ต้องการมากที่สุดในการปูผิวทาง ความเสียหายจำนวนมากจะเกิดขึ้นเนื่องจากความชื้น เช่น แตกร้าว, การเป็นร่อง, การฉีกขาด (fatigue cracking, rutting และ raveling) เป็นต้น

Rutting ที่เกิดขึ้นในแอสฟัลท์คอนกรีตส่วนใหญ่เกิดที่ผิวด้านบน ในกรณีที่มีแรงเฉือนเนื่องจากการรับโหลดที่สูงจากล้อ เนื่องจากชั้นผิวมีโอกาสสูงที่จะอิ่มตัวด้วยน้ำ การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวภายในของแอสฟัลท์ที่มิสาเหตุมาจากน้ำนั้น ไปลดแรงเฉือนของแอสฟัลท์คอนกรีตและเร่งให้เกิด Rutting โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อส่วนผสมนั้นไวต่อความชื้น ปริมาณน้ำฝนที่มากและการจราจรที่หนาแน่น โดยการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวภายในของแอสฟัลท์ในชั้นผิวด้านบนนั้นอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายจากบนลงล่าง

Raveling เกิดขึ้นที่ผิวทาง ซึ่งความเครียดที่เกิดจากการจราจร เป็นการรวมกันของความเค้นแนวตั้งที่ไม่สม่ำเสมอและแรงแนวระนาบแนวรัศมี และด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดแรงดึงในแนวระนาบ น้ำจะลดความต้านทานแรงดึงของพื้นผิวส่วนผสมอย่างต่อเนื่องเพื่อให้รอยร้าวและการแยกตัวเกิดขึ้นภายใต้การรับน้ำหนักบรรทุกของการจราจร

บางครั้งแอสฟัลท์ที่ลอกออกจากพื้นผิวรวมภายในแอสฟัลท์คอนกรีตสามารถโยกย้ายไปยังพื้นผิวถนนได้เนื่องจากการจราจร แอสฟัลท์มากเกินไปที่ผิวหน้าหรือที่เรียกว่า “เยิ้ม” ช่วยลดแรงเสียดทานของพื้นผิวและเพิ่มความเสี่ยงในการจราจร

2.10 การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว (Failure)

การมีอยู่ของน้ำในแอสฟัลท์คอนกรีตสามารถนำไปสู่กลไกความเสียหายอย่างน้อยหนึ่งอย่างดังต่อไปนี้

2.10.1 การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวภายในของแอสฟัลท์ (Loss of Cohesion)

ในแอสฟัลท์คอนกรีต แรงยึดเหนี่ยวภายในของแอสฟัลท์ ถูกอธิบายว่าเป็นความสมบูรณ์โดยรวมของวัสดุเมื่ออยู่ภายใต้ภาระหรือความเครียด และได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความหนืดของฟิล์มแอสฟัลท์

ความชื้นสามารถเปลี่ยนพฤติกรรมการเสียรูปและการไหลของแอสฟัลท์และลดแรงยึดเหนี่ยวภายในของแอสฟัลท์ สิ่งนี้ได้ถูกสังเกตโดยนักวิจัยหลายคน (Williams 1998) ได้ทำการทดลองโดย แช่ตัวอย่างแอสฟัลท์ในน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 และ 27 สัปดาห์และสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ESEM) ซึ่งความลึกที่น้ำแทรกซึมเพิ่มขึ้นจาก 183 ไมครอนเป็น 278 ไมครอนตลอดระยะเวลา 21 สัปดาห์ (Robertson 1991) คาดการณ์ว่า คาดการณ์ว่าแอสฟัลท์มีความสามารถในการรวมและลำเลียงน้ำ โดยอาศัยแรงดึงดูดของโมเลกุลของน้ำที่มีขั้วกับองค์ประกอบที่มีขั้วของแอสฟัลท์ Nguyen et al. (1996) ยังชี้ให้เห็นอีกว่าส่วนประกอบที่มีขั้วสูงและสิ่งเจือปนที่ละลายน้ำได้ (เช่น ไอออนและเกลือ) ในแอสฟัลท์ทำให้เกิดการรวมตัวกับน้ำเกิดขึ้นในบริเวณนั้น ดังนั้นการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านแอสฟัลท์ไปยังผิวสัมผัสระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างมวลรวมและแอสฟัลท์ ไม่ใช่การแพร่กระจายที่สม่ำเสมอ แต่เป็นกระบวนการเคลื่อนที่ที่ค่อยๆ ผ่านทางรูอากาศ

2.10.2 การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแอสฟัลท์กับผิวมวลรวม (Loss of Adhesion)

สำหรับการผสมของแอสฟัลท์คอนกรีตนั้น มีวัตถุประสงค์ของการออกแบบเพื่อเคลือบพื้นผิวของมวลรวมทั้งหมดด้วยฟิล์มแอสฟัลท์ แรงดึงดูดระหว่างฟิล์มแอสฟัลท์และพื้นผิวมวลรวมถูกกำหนดให้เป็นการยึดเกาะแบบ adhesion น้ำสามารถทำลายการยึดเกาะได้ด้วยสองกลไกคือ detachment และ displacement

Detachment คือการแยกแอสฟัลท์ออกจากพื้นผิวของผิวมวลรวมด้วยฟิล์มบาง ๆ ของน้ำโดยปราศจากการต่อต้านของฟิล์มแอสฟัลท์ ในขณะที่น้ำเคลื่อนที่เข้าแทรกบริเวณผิวสัมผัสระหว่างแอสฟัลท์และมวลรวมนั้น อาจอธิบายได้โดยทฤษฎีพลังงานรูปแบบคลื่นและ /หรือทฤษฎีปฏิกริยาเคมี

แอสฟัลท์ซึ่งเป็นส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีส่วนน้อยที่เป็นเฮทเทโรอะตอม (เช่นไนโตรเจนออกซิเจนและกำมะถัน) และโลหะ (เช่นวานาเดียม นิกเกิลและเหล็ก) ส่งผลให้คุณสมบัติมีขั้วเล็กน้อยในทางกลับกันน้ำมีขั้วที่สูงมาก ดังนั้นในระบบของ มวลรวม แอสฟัลท์และน้ำนั้น น้ำสามารถเข้าแทนที่แอสฟัลท์โดยส่วนใหญ่จะอาศัยพื้นผิวของมวลรวม เพราะจะสามารถลดพลังงานอิสระของระบบเพื่อให้เกิดสภาพเสถียรทางอุณหพลศาสตร์ (Stuart 1990.) งานวิจัยเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของแอสฟัลท์และมวลรวมแสดงให้เห็นว่าวัสดุทั้งสองนี้อาจก่อพันธะทางเคมีเช่นพันธะโควาเลนต์ (Plancher et al. 1977) เมื่อน้ำสัมผัสกับพื้นผิวของรวมจะทำให้เกิดการไฮโดรไลซิสและกระบวนการสลายตัวเริ่มขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งส่งผลให้น้ำโดยรอบมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH เกิดขึ้น (Scott 1978, Nguyen et al. 1996) การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำสามารถเปลี่ยนประเภทของกลุ่มขั้วโลกที่ถูกดูดซับโดยมวลรวม นำไปสู่การเกิดประจุลบขึ้นที่ผิวของแอสฟัลท์แล้วผิวของมวลรวมจึงทำให้เกิดการแยกออกจากกันของมวลรวมและแอสฟัลท์ (Scott 1978, Tarrer 1986)

สำหรับการแยกออกหรือการเข้าแทนที่ที่จะเกิดขึ้นนั้นจำเป็นต้องมีความชื้นอยู่ระหว่างผิวสัมผัสระหว่างแอสฟัลท์และมวลรวม นอกจากนี้การเกิดอิมัลชันโดยธรรมชาติ การอบแห้งที่ไม่เพียงพอ การเคลือบผิวมวลรวมที่ไม่สมบูรณ์จนกระทั่งระหว่างกระบวนการก่อสร้าง ซึ่งทำให้น้ำสามารถซึมผ่านไปยังผิวของมวลรวมได้หลายวิธี เช่น การร้าวของแผ่นแอสฟัลท์ การออสโมซิส เป็นต้น

กลไกความเสียหายของความชื้นที่กล่าวถึงข้างต้นเป็นที่รู้จักกันมานานหลายปี แต่เป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปหรือในระดับแนวคิดและแสดงให้เห็นในท้องปฏิบัติการเท่านั้น เนื่องจากความซับซ้อนขององค์ประกอบ ส่วนผสม และโครงสร้างและปัจจัยที่มีอิทธิพลจำนวนมากในสนาม จึงเป็นเรื่องยากที่จะประเมินการมีส่วนร่วมของแต่ละกลไกในสนาม อาจเป็นไปได้ว่าปัจจัยเหล่านั้นอาจแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญภายใต้สภาพสนามที่แตกต่างกัน ข้อบ่งชี้ประการหนึ่งจากกลไกคือความเสียหายที่เกิดจากความชื้นจำนวนหนึ่งเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้สำหรับส่วนผสม อย่างไรก็ตามอัตราและความรุนแรงของความเสียหายอาจลดลงได้โดยการปรับการออกแบบส่วนผสมหรือการใช้สารลดแรงตึงผิว

2.11 การยึดเกาะระหว่างแอสฟัลท์และมวลรวม (Asphalt Binder and Aggregate Adhesion)

ความเสียหายจากความชื้นคือการลดการยึดเกาะระหว่างแอสฟัลท์และพื้นผิวของมวลรวมในส่วนผสม HMA เพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุและมาตรการป้องกันจะมีการนำเสนอการอภิปรายสั้น ๆ เกี่ยวกับกลไกการยึดเกาะ มี 4 วิธีหลักของการยึดเกาะอย่างมอดอยและมวลรวม

2.11.1 เชิงกล (Mechanical Adhesion)

แอสฟัลท์เข้าสู่พื้นผิวและรูของมวลรวมจะแข็งตัวแล้วทำให้เกิดการล็อกทางกล ความชื้นในมวลรวมสามารถรบกวนการแทรกซึมของแอสฟัลท์ที่เข้าไปในมวลรวมและลดการล็อกทางกลซึ่งจะเป็นการเพิ่มความไวต่อการหลุดร่อน

2.11.2 เชิงเคมี (Chemical Adhesion)

ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างแอสฟัลท์และพื้นผิวมวลรวมเกิดการยึดเกาะทางเคมี โดยทั่วไปมวลรวมกับพื้นผิวที่เป็นกรดจะไม่ทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับยางมะตอย ปฏิกิริยาที่อ่อนแอกว่านี้อาจไม่แข็งแรงพอที่จะตอบโต้ปัจจัยความเสียหายจากความชื้น

2.11.3 แรงยึดเกาะ (Adhesion Tension)

แรงยึดเกาะระหว่างแอสฟัลท์และมวลรวมที่ โดยทั่วไปแล้วจะน้อยกว่าแรงยึดเกาะระหว่างน้ำกับมวลรวม ดังนั้นหากทั้งสามสิ่งนี้สัมผัสกันน้ำจะมีแนวโน้มที่จะแทนที่แอสฟัลท์ จึงอาจส่งผลให้เกิดการเปียกของพื้นผิวมวลและทำให้แอสฟัลท์เกิดการหลุดร่อน แรงยึดเกาะระหว่างแอสฟัลท์และมวลรวมนั้นแปรผันตามชนิดของแอสฟัลท์ ประเภทมวลรวมและความหยาบผิวมวลรวม

2.11.4 การวางแนวของโมเลกุล (Molecular Orientation)

เมื่อมีการสัมผัสกันระหว่างแอสฟัลท์กับมวลรวม โมเลกุลแอสฟัลท์มีแนวโน้มที่จะปรับทิศทางตัวเองให้สัมพันธ์กับไอออนบนพื้นผิวมวลรวมซึ่งสร้างแรงดึงดูดที่อ่อนแอแอสฟัลท์และพื้นผิวมวลรวม หากโมเลกุลของน้ำซึ่งเป็น dipolar มีขั้วมากกว่าโมเลกุลแอสฟัลท์ อาจทำให้เกิดการตอบสนองความต้องการพลังงานของพื้นผิวมวลรวม ทำให้การรวมตัวกันแอสฟัลท์ที่อ่อนแอส่งผลให้เกิดการหลุดร่อน

2.12 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสียหายของความชื้น (Factors Influencing Moisture Damage)

ความไวต่อความชื้นเป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนขึ้นอยู่กับกลไกที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ ธรรมชาติของกลไกเหล่านี้และปฏิกิริยาของสิ่งเหล่านี้ทำให้ยากต่อการทำนายด้วยความแน่นอนว่าลักษณะเฉพาะนั้นจะเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาความไวต่อความชื้นหรือไม่ โดยทั่วไปความไวต่อความชื้นจะเพิ่มขึ้นตามปัจจัยใดก็ตามที่เพิ่มความชื้นใน HMA ลดการยึดเกาะของแอสฟัลท์ไปยังพื้นผิวมวลรวมหรือการเกาะตัวของแอสฟัลท์ ปัจจัยต่างๆที่ระบุไว้ด้านล่างนี้มีอิทธิพลต่อความไวต่อความชื้นในระดับหนึ่ง แต่ปัจจัยใดเป็นมาตรฐานสำหรับการทำนายความไวต่อความชื้น

2.12.1 ลักษณะของแอสฟัลท์ (Asphalt binder characteristics)

ความเหนียวมีความสำคัญเนื่องจากอาจบ่งบอกถึงความเข้มข้นของ asphaltenes ที่สูงขึ้น (โมเลกุลมีขนาดใหญ่) โมเลกุลมีขี้สามารถสร้างแรงยึดเกาะที่มากขึ้นและการยึดเกาะในแนวโมเลกุล ดังนั้นความเหนียวที่ต่ำกว่าซึ่งอาจแสดงถึงความเข้มข้นต่ำกว่าของ asphaltenes โดยทั่วไปมีความไวต่อการหลุดร่อนองค์ประกอบแอสฟัลท์เช่น ซัลฟอกไซด์ กรดคาร์บอกซิลิกฟีนอลและสารประกอบไนโตรเจน ก็อาจส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการหลุดร่อน

2.12.2 ลักษณะของมวลรวม (Aggregate Characteristics)

โดยทั่วไปมวลรวมที่ชอบน้ำ มีแนวโน้มที่หลุดร่อนออกมามากกว่ามวลรวมที่ไม่ชอบน้ำ เราสามารถหลีกเลี่ยงการรวมตัวที่ไวต่อการหลุดร่อนหรือตัวปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลท์เพื่อป้องกันการหลุดร่อนการสรุปที่สำคัญที่กำหนดคุณสมบัติการชอบน้ำและไม่ชอบน้ำนี้

2.12.2.(1) เคมีของพื้นผิว (Surface Chemistry)

พื้นผิวที่สามารถสร้างพันธะได้ง่ายขึ้นโดยแอสฟัลท์และมีโอกาสน้อยที่จะเกิดการหลุดร่อน โดยทั่วไปแล้วพื้นผิวมวลรวมที่เป็นกรดมากกว่าจะไวต่อการหลุดร่อน เหล็กแมกนีเซียมแคลเซียมและอลูมิเนียมอาจมีประโยชน์ในขณะที่โซเดียมและโพแทสเซียมถือว่าเป็นอันตรายต่อการสร้างพันธะ (Hicks, 1991)

2.12.2.(2) รูพรุนและขนาดของรูพรุน (Porosity and Pore Size)

ขนาดรูพรุนเป็นปัจจัยสำคัญ หากรูพรุนใหญ่พอที่จะยอมให้แอสฟัลท์เข้ายึดเกาะ ความพรุนสูงจะส่งผลให้มีการดูดซับสูงซึ่งหมายความว่าต้องใช้แอสฟัลท์มากขึ้นเพื่อให้ได้แอสฟัลท์คอนกรีตที่มีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ ในทางกลับกันหากมีความพรุนในปริมาณไม่สูงที่ แอสฟัลท์จะมีการดูดซับน้อยลงเพื่อสร้างแผ่นฟิล์มแอสฟัลท์รอบอนุภาคมวลรวมที่ก่อให้เกิดการหลุดร่อนเร็วขึ้น

2.12.3 ช่องว่างอากาศ (Air voids)

การดูดซับแอสฟัลท์ของมวลรวมมีผลต่อปริมาณของช่องว่างอากาศในส่วนผสม HMA เมื่อช่องว่างอากาศของ HMA เกินกว่าร้อยละ 8 โดยปริมาตรอาจเชื่อมต่อกันได้และปล่อยให้ น้ำซึมผ่าน HMA ได้ง่ายและทำให้เกิดความเสียหายต่อความชื้นจากแรงดันน้ำหรือการขยายตัวของน้ำแข็ง ในการแก้ไขปัญหานี้การออกแบบส่วนผสม HMA จะปรับปริมาณแอสฟัลท์และการคละของมวลรวมเพื่อทำให้เกิดช่องว่างอากาศประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ ช่องว่างอากาศที่มากเกินไปอาจเกิดมาจากการออกแบบส่วนผสมหรือปัญหาจากการก่อสร้างและในที่นี้จะเน้นเฉพาะปัญหาการออกแบบผสม

แอสฟัลท์คอนกรีตแบบรูพรุน (Porous Asphalt Concrete) พอร์สแอสฟัลท์คอนกรีตคือวัสดุผลผลิตที่ได้จากการผสมระหว่างมวลรวม (Aggregate) กับโพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ซีเมนต์ (Polymer Modified Asphalt Cement) ที่โรงงานผสม (Asphalt Concrete Mixing Plant) โดยควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนดมีลักษณะผิวหน้าหยาบ มีรูพรุนสูง น้ำซึมผ่านได้ดี เพิ่มค่าความฝืดของผิวทาง ไม่เกิดแผ่นฟิล์มของน้ำ (Hydroplaning) และลดระดับเสียงขณะรถวิ่งผ่าน (No. DH-S 414/2542)

เป็นผิวทางชนิดพิเศษที่มีคุณสมบัติเฉพาะคือ เป็นวัสดุที่มีความพรุนสูงจึงทำให้การระบายน้ำเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว น้ำไม่ขังขณะและหลังเกิดฝนตกโดยที่น้ำสามารถซึมผ่านลงไปได้พื้นถนนได้อย่างรวดเร็ว เป็นผลให้การเพิ่มสมรรถนะในการขับขี่รถยนต์ คือรถไม่ลื่นไถลขณะวิ่งด้วยความเร็วหรือเบรกกะทันหัน อีกทั้งยังเป็นการลดละอองน้ำที่กระเซ็นรบกวนยานพาหนะคันหลังที่วิ่งตามมาเป็นการเพิ่มความสามารถในการมองเห็นของผู้ขับขี่ส่งผลให้ลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุกับผู้ใช้ทาง จุดเด่นของพอร์สแอสฟัลท์อีกประการ คือ การที่เนื้อวัสดุมีลักษณะพรุนนั้น จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับเสียงที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างยางรถยนต์และผิวทาง ซึ่งสามารถลดมลภาวะทางเสียงที่เกิดขึ้นต่อผู้อยู่อาศัยสองข้างทางอีกด้วย

ชื่อทางเทคนิคของถนนชนิดนี้คือ Open-Graded Friction Course (OGFC) การที่มีปริมาณรูพรุนค่อนข้างมากเกิดจากการใช้วัสดุมวลรวมขนาดใหญ่ในปริมาณมากโดยปกติจะใช้วัสดุที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ไม่เกิน 20% ทั้งนี้การผลิตพอร์สแอสฟัลท์ มีขั้นตอนไม่แตกต่างจากการผลิตแอสฟัลท์ทั่วไป ความแตกต่างที่สำคัญอย่าง เดียวคือ การคัดขนาดมวลรวม(Gradation) อย่างไรก็ตามการใช้พอร์สแอสฟัลท์มีปัญหาอยู่หลายประการ ได้แก่ การลอก(Stripping) ภายใต้อิทธิพลของน้ำจากสาเหตุหลายกรณี เช่น ปริมาณน้ำจำนวนมากซึ่งอยู่ส่วนล่างของผิวทางพอร์สแอสฟัลท์เป็นเวลานานปัญหาอีกอย่างคือ การอุดตันของรูพรุนของผิวทางพอร์สแอสฟัลท์ทำให้การระบายน้ำไม่ดีเท่าที่ควรจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาและขจัดสิ่งอุดตันในรูพรุน

2.12.4 สภาพอากาศในการก่อสร้าง (Construction weather)

การก่อสร้างในสภาพอากาศที่เย็นสามารถนำไปสู่การบดอัดไม่เพียงพอส่งผลให้เกิดช่องว่างอากาศสูงและพื้นผิว HMA ที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ สิ่งนี้มีความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มปริมาณของน้ำในโครงสร้างของผิวทางและทำให้เกิดความเสียหายจากชื้น สภาพอากาศที่เปียกยังสามารถเพิ่มความชื้นใน HMA ที่สร้างขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.5 ภูมิอากาศ (Climate)

สภาพภูมิอากาศที่ชื้น วัฏจักรการแช่แข็งและละลายของน้ำและความผันผวนของอุณหภูมิ สิ่งเหล่านี้สามารถทำให้ความชื้นเข้าสู่โครงสร้าง HMA ได้มากขึ้นซึ่งจะเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะถูกทำลายจากความชื้น

2.12.6 การจราจร (Traffic)

หากมีน้ำอยู่ในโครงสร้าง HMA ปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นสามารถเร่งให้เกิดความเสียหายจากความชื้นได้ด้วยเหตุผล 2 ประการ

2.12.6.1 แรงดันน้ำสะสม (Pore pressure buildup)

หากน้ำอยู่ในรูรวมรวมและไม่สามารถออกมาได้ การจราจรมีแนวโน้มที่จะบีบอัดรูเหล่านี้และก่อให้เกิดการสะสมของแรงดันซึ่งสามารถผลักแอสฟัลท์ออกจากพื้นผิวของมวลรวม

2.12.6.2 การกัดเซาะของของเหลว (Hydraulic scouring)

ล้อเคลื่อนที่บนผิวทาง HMA มีแนวโน้มที่จะทำให้น้ำในผิวทางเกิดการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่นี้ทำให้เกิดการกัดเซาะบนพื้นผิวซึ่งสามารถกัดเซาะแอสฟัลท์ออกจากพื้นผิวมวลรวม

2.13 มาตรการการป้องกัน (Preventive Measures)

มาตรการต่าง ๆ สามารถนำมาใช้เพื่อป้องกันหรืออย่างน้อยก็ลดความเสียหายจากความชื้น มาตรการเหล่านี้มีตั้งแต่การเลือกวัสดุไปจนถึงการปฏิบัติงานก่อสร้างการออกแบบผิวทางและสารเติมแต่ง HMA:

- การเลือกมวลรวม เลือกมวลรวมความพรุนต่ำมีพื้นผิวที่ขรุขระและสะอาด
- ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นสู่ผิวทาง HMA ลดความสามารถในการซึมผ่านของโครงสร้างผิวทาง โดยจัดการกับปริมาณอากาศ โดยการเพิ่มขนาดและการกระจายของมวลรวม นอกจากนี้การปรับสภาพพื้นผิวเช่น fog seals, slurry seals หรือการเคลือบผิวบิทูมินัส (BSTs) สามารถกั้นน้ำที่พื้นผิว HMA
- ปรับเปลี่ยนคุณสมบัติพื้นผิวมวลรวมเพื่อแทนที่ไอออนที่มีแนวโน้มว่าจะมีผลต่อการยึดเกาะของแอสฟัลท์และมวลรวม

2.14 การทดสอบการต้านทานความชื้น

2.14.1 วิธีทดสอบแรงดึงแบบทางอ้อม (Indirect tensile strength test)

การทดสอบแรงดึงแบบทางอ้อม ที่ระบุใน AASHTO T283 หรือที่เรียกว่า TSR (Tensile strength Ratio) เป็นการทดสอบที่ใช้กันมากที่สุดในการประเมินความเสียหายเนื่องจากความชื้นของแอสฟัลท์คอนกรีต การทดสอบมีด้วยกัน 2 สภาวะคือ สภาวะแห้ง คือเก็บตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง และสภาวะความชื้น คือ แช่ตัวอย่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องอีกเป็นเวลา 2 ชั่วโมง การทดสอบนี้ถูกนำมาใช้ในระบบ Superpave ตามการทดสอบที่จำเป็นเพื่อตรวจสอบความไวต่อความชื้น นอกจากนี้การทดสอบนี้เป็นแบบทดสอบที่ใช้กันอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่หลายในการพิจารณาความเสียหายเนื่องจาก ผลของค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของตัวอย่างแบบชิ้น และ ค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของตัวอย่างแบบแท่งสามารถระบุได้ว่าเป็นอัตราส่วนความต้านทานแรงดึง (TSR)



รูปที่ 2.7 เครื่องมือสำหรับทดสอบ Indirect tensile strength

2.15 การทดสอบการหาค่าการซึมผ่าน

2.15.1 การทดสอบการซึมผ่านโดยวิธีฟลอริดา (Florida permeability method)

วิธีการทดสอบการซึมผ่านของยางมะตอยที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือวิธีการซึมผ่านของฟลอริดา (FDOT-FM 5-565) การซึมผ่านของฟลอริดาใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าการซึมผ่านของน้ำของก้อนแอสฟัลท์ สามารถใช้ตัวอย่างภาคสนามหรือห้องปฏิบัติการได้ในขั้นตอนนี้ ขั้นตอนนี้ใช้เครื่องทดสอบการซึมผ่านของหัวตกรซึ่งใช้ในการกำหนดอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างแอสฟัลท์ ผู้ทดสอบใช้กระบอกเกอร์เดียนต์ที่บรรจุน้ำตามปริมาณที่กำหนดไว้ล่วงหน้า และปล่อยให้ น้ำไหลผ่านตัวอย่างแอสฟัลท์จากนั้นจับเวลาจนกว่าปริมาณน้ำที่ใส่ไป จะถึงจุดต่ำสุดและสังเกตการเปลี่ยนแปลงโดยใช้กฎของดาร์ซีแต่ถ้าหากการทดสอบใช้เวลานานกว่า 30 นาทีค่า การทดสอบจะถูกบันทึกจากระดับน้ำที่เหลืออยู่ในกระบอกในระยะเวลา 30 นาทีจากนั้นใช้กฎของดาร์ซีและค่า สัมประสิทธิ์การซึมผ่านสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$K = \frac{aL}{At} \times \ln \left(\frac{h1}{h2} \right)$$

Where:

K = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (coefficient of permeability), cm/s

a = ภายในพื้นที่หน้าตัดของหลอด (inside cross-sectional area of the buret), cm²

L = ความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานทดสอบ (average thickness of the test specimen), cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของชิ้นงาน (average cross-sectional area of the test specimen), cm^2

t = เวลาที่น้ำไหลผ่านระหว่าง h_1 และ h_2 (elapsed time between h_1 and h_2), s

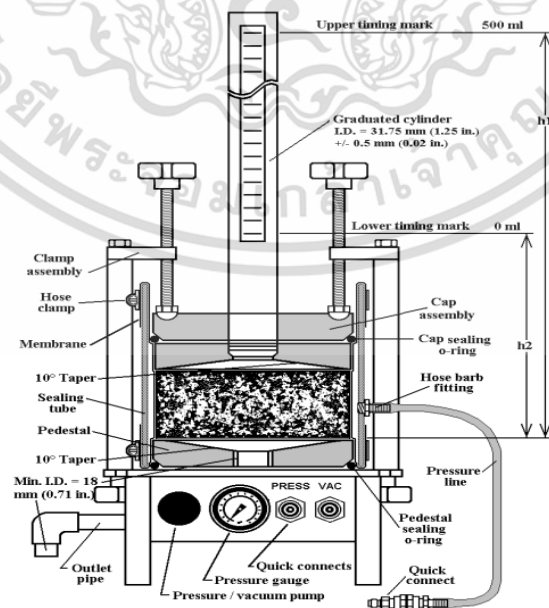
h_1 = ระยะเริ่มต้นชิ้นงานทดสอบ (initial head across the test specimen), cm

h_2 = ระยะสุดท้ายชิ้นงานทดสอบ (final head across the test specimen), cm

tc = ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของน้ำ (temperature correction for viscosity of water)



รูปที่ 2.8 เครื่องมือสำหรับทดสอบ Florida permeator



รูปที่ 2.9 เครื่องมือสำหรับทดสอบ Florida permeator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1. ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของน้ำ

Temperatures Correction For Viscosity Of Water. Celsius

Table 1 - Temperature Correction for Viscosity of Water, Celsius

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
10	1.30	1.30	1.29	1.29	1.29	1.28	1.28	1.27	1.27	1.27
11	1.26	1.26	1.26	1.25	1.25	1.25	1.24	1.24	1.24	1.23
12	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22	1.21	1.21	1.21	1.20	1.20
13	1.20	1.19	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18	1.17	1.17	1.17
14	1.16	1.16	1.16	1.16	1.15	1.15	1.15	1.14	1.14	1.14
15	1.13	1.13	1.13	1.13	1.12	1.12	1.12	1.11	1.11	1.11
16	1.10	1.10	1.10	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09	1.08	1.08
17	1.08	1.07	1.07	1.07	1.07	1.06	1.06	1.06	1.06	1.05
18	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03	1.03
19	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00
20	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
21	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
22	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93
23	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91
24	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89
25	0.89	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.87	0.87
26	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.85
27	0.85	0.85	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
28	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82
29	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80
30	0.80	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78
31	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77
32	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.75
33	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
34	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.72
35	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.71	0.71	0.71	0.71

2.2 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

Cheng, D., Little, D. N., Lytton, R. L., & Holste, J. C. (2002) ได้ทำการศึกษาพันธะการยึดเกาะในระบบความสัมพัทธ์ของแอสฟัลท์กับพลังงานของพื้นผิวมวลรวม การเปลี่ยนแปลงทางอุณหพลศาสตร์ของพลังงานพื้นผิวของการยึดเกาะนั้นสัมพันธ์กับการลดลงของพันธะระหว่างแอสฟัลท์กับพื้นผิวของมวลรวมและรอยแตกที่อาจจะเกิดขึ้นภายใน mastic อย่างไรก็ตามมันเป็นความจริงที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงทางอุณหพลศาสตร์ในพลังงานพื้นผิวเพื่อรักษารอยร้าวระหว่างพื้นผิวของแอสฟัลท์และมวลรวมหรือรอยร้าวภายใน mastic งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการทดสอบสำหรับการวัดพลังงานพื้นผิวของแอสฟัลท์ ทั้งพลังงานพื้นผิวแบบแห้งและพลังงานพื้นผิวแบบมีความชื้น ซึ่งสามารถหาได้จากการวัดมุมสัมผัสโดยใช้วิธีการของ Wilhelm plate สิบตัวอย่างแอสฟัลท์ที่ถูกทดสอบพบว่าพลังงานพื้นผิวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญซึ่งเป็นฟังก์ชันขององค์ประกอบของแอสฟัลท์และระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอายุของแอสฟัลท์ โดยใช้ทฤษฎีทางอุณหพลศาสตร์วิเคราะห์พลังงานการยึดเกาะภายในระบบของแอสฟัลท์ และมวลรวม การวิเคราะห์นี้มีศักยภาพในการเลือกการรวมกันของแอสฟัลท์และมวลรวมที่เข้ากันได้มากที่สุด สำหรับการผสม พลังงานพื้นผิวก็เป็นตัวแปรที่สำคัญเช่นกันในการวิเคราะห์ความล้าและการซ่อมแซมผิวทางชนิดแอสฟัลท์

Kanitpong, K., & Bahia, H. (2003) แสดงให้เห็นว่าการศึกษาค้นคว้านี้เป็นความพยายามที่จะรักษา adhesion ซึ่งแยกออกจาก cohesion และนำเสนอระบบทั้งสองเพื่อวัดค่าได้อย่างอิสระ ในการวัดค่า adhesion จะเสนอการทดสอบแบบดึงออก (PATTI) ในการวัดค่า cohesion นั้น Dynamic Shear Rheometer ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาการทดสอบเพื่อวัดความเหนียวของฟิล์มบาง ๆ ของแอสฟัลท์ แผนฟิล์มบางๆถูกเสนอเพื่อเป็นตัวชี้วัดค่า cohesion ภายใต้สภาวะของฟิล์มบางที่มักพบในส่วนผสมของแอสฟัลท์ ผลการวิจัยเสนอหลักฐานว่าเราจำเป็นต้องแยกแยะระหว่างการยึดของ adhesion และการยึดของฟิล์มบาง ผลการศึกษาพบว่าสารเติมแต่ง รวมถึง anti-strip และโพลีเมอร์ สามารถส่งผลต่อ adhesion ได้แตกต่างจาก cohesion แบบฟิล์มบาง การศึกษาชี้ให้เห็นว่าแม้ว่าจะไม่มีการแทนที่การทดสอบด้วยส่วนผสมทั้งหมดของ HMA แต่การออกแบบแอสฟัลท์ที่มีคุณสมบัติการยึดเกาะที่ดีขึ้นและ / หรือคุณสมบัติการเกาะติดที่ดีขึ้นอาจเป็นขั้นตอนสำคัญในการปรับปรุงความต้านทานของ HMA ต่อความชื้น

Moraes, R., Velasquez, R., & Bahia, H. (2011). ระบุว่ามีการพัฒนาวิธีการทดสอบหลายวิธีเพื่อประเมินการสูญเสียการยึดเกาะในแอสฟัลท์ อย่างไรก็ตามขั้นตอนง่าย ๆ ในการจัดการกับความเสียหายที่เกิดจากความชื้นในผิวสัมผัสระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลท์ไม่สามารถใช้ได้ การศึกษาความเป็นไปได้ของการทดสอบความแข็งแรงของพันธะบิตูเมน (BBS) ที่พัฒนาขึ้นใหม่สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะความเสียหายของความชื้น เมทริกซ์ในการทดลองที่รวมถึงแอสฟัลท์ การดัดแปลงและมวลรวม ที่หลากหลายเพื่อพิจารณาสภาพทางเคมีและทางกายภาพในผิวสัมผัสระหว่างแอสฟัลท์และมวลรวม ผลการวิจัยพบว่าค่าความแข็งแรงพันธะของระบบแอสฟัลท์และมวลรวมขึ้นกับการดัดแปลงและเวลาที่สัมผัสกับความชื้น และพบว่าพอลิเมอร์นั้นช่วยปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างแอสฟัลท์และมวลรวมตลอดจนการเกาะกันภายในแอสฟัลท์ ผลจากการศึกษาค้นคว้าชี้ให้เห็นว่าการทดสอบ BBS สามารถทำได้ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของการทดสอบ BBS เพิ่มเติมได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบ BBS และการทดสอบ Dynamic shear rheometer การเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าการทดสอบ BBS สามารถจัดลำดับวัสดุได้คล้ายกับการทดสอบที่ซับซ้อนและใช้เวลามากขึ้น

P.Chaturabong & H.U. Bahia (2016) ได้ทำการศึกษาการประเมินความแตกต่างด้านคุณสมบัติต้านทานการความเสียหายเนื่องจากความชื้นของวัสดุผิวทางแอสฟัลท์แต่ละกลุ่มที่ได้รับวัสดุเติมแต่งชนิดต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(mineral fillers) โดยวิเคราะห์จากผลการทดสอบ BBS test ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าพื้นที่ผิวและลักษณะโครงสร้างทางแร่วิทยาของวัสดุเติมแต่ง (mineralogy) ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านทานความเสียหายเนื่องจากความชื้นของวัสดุผิวทางแอสฟัลท์ และผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าแอสฟัลท์ที่ได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวัสดุเติมแต่ง ให้ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านทานความเสียหายเนื่องจากความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการทดสอบวัสดุผิวทางที่ได้รับวัสดุเติมแต่งและวัสดุพอลิเมอร์ สำหรับการผลิตวัสดุมวลรวม เป็นเทคนิคที่ช่วยคาดการณ์ความสามารถในการต้านทานความเสียหายของวัสดุผิวทางทั้งก่อนและหลัง ที่วัสดุผิวทางได้รับความชื้น (water conditioning) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(Mogawer and Stuart, 1996; Buttlar et al, 1999) คุณสมบัติของแอสฟัลต์มาสดิกขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการโดยเฉพาะคุณสมบัติของแอสฟัลท์ คุณสมบัติของฟิลเลอร์และอัตราส่วนของฟิลเลอร์ต่อแอสฟัลท์ นอกจากนี้ยังมีชนิดของฟิลเลอร์และแอสฟัลท์ที่หลากหลายชนิดแอสฟัลท์จะทำปฏิกิริยาแตกต่างกันกับฟิลเลอร์ที่แตกต่างกันดังนั้นคุณสมบัติของ mastic ขึ้นอยู่กับการรวมกันของฟิลเลอร์และแอสฟัลท์โดยเฉพาะ

(Melotti et al, 2013) มาตรฐานของนอร์เวย์ระบุฟิลเลอร์เป็นวัสดุชั้นดีโดย 100% ผ่านตะแกรง 2 มม. , 95% ผ่านตะแกรง 0.125 มม. และ 83% ผ่านตะแกรง 0.063 มม. (NS-EN 13043, 2002) ฟิลเลอร์เกิดขึ้นตามธรรมชาติในมวลรวมเนื่องจากฝุ่นที่ได้จากการบดมวลรวม หากปริมาณฟิลเลอร์จากธรรมชาติไม่เพียงพอจะมีการเติมฟิลเลอร์เพิ่มเติม ฝุ่นธรรมชาติที่คัดกรองจากมวลรวมถูกเก็บรวบรวมโดยเครื่องดักฝุ่นแบบถุงเก็บฝุ่น ในขณะที่แร่ธาตุที่พบมากในฟิลเลอร์คือหินปูน ฟิลเลอร์ยังผลิตในอุตสาหกรรมเช่น ปูนขาว แกลบหรือตะกรัน ฟิลเลอร์นำเข้าเช่นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และซีเมนต์ชีวมวลถูกนำมาใช้เป็นวัสดุในการเติมส่วนผสมของแอสฟัลต์ที่ดีที่สุด

(Lerfald 2000) พบว่ารูปร่างของปูนขาวจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจาก ฝุ่นไปจนและหินปูน ในขณะที่หินปูนมีลักษณะเป็นทรงกลม และฝุ่นจะยาวกว่านิดหน่อย ปูนขาวมีอนุภาคที่พรุน และมีลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอและมีพื้นที่ผิวสูง รูปร่างของฟิลเลอร์ที่ผลิตออกมาจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต และปูนขาวเป็นผลจาก calcium carbonate ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำไปเป็น calcium oxide

(Buttlar et al, 1999) ใช้เครื่องวิเคราะห์การดูดซึมนไนโตรเจนในการศึกษาพื้นที่ผิวของอนุภาคฟิลเลอร์ โดยวัดการดูดซึมน isotherm ของแก๊สไนโตรเจนที่บริเวณชั้นผิว โดยวิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET) ที่มีการพัฒนามาตั้งแต่ 1930s (Sing, 1998)

(Geber and Gomse 2010) พบว่าแร่หินภูเขาไฟเพิ่มพื้นที่ผิว ดังนั้น ฟิลเลอร์หินแอนดไรต์มีพื้นที่ผิวมากในขณะที่หินปูนมีน้อย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

การทดลองใช้หินปูนเป็นมวลรวม ร่วมกับฝุ่นกากอ้อย, ฝุ่นขุยมะพร้าวและฝุ่นหินปูน ที่ปริมาณฝุ่น 20% โดยปริมาตรของแอสฟัลท์ โดยที่ชนิดแอสฟัลท์คือ AC 60-70, CB5 และ PMA โดยที่การทดสอบในการศึกษานี้มีการทดสอบ 3 การทดสอบคือ IPAS2, Permeator, Indirect Tensile Strength Tester ดังแสดงในตารางที่ 3.2

วัสดุที่ใช้ในการทดลองชนิดของแอสฟัลท์ AC60/70 และ AC60/70+CB5 และการออกแบบการคละกันของมวลรวม (aggregate gradation) คือ แบบปริมาณการจราจรสูง สำหรับวัสดุอื่น ๆ ที่มีการคละวัสดุในการทดสอบคือ ชนิดมวลรวม ชนิดฝุ่น และปริมาณฝุ่น ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	รายละเอียด
ชนิดมวลรวม	หินปูน
ชนิดฝุ่น	ฝุ่นกากอ้อย ฝุ่นขุยมะพร้าว ฝุ่นหินปูน
ปริมาณฝุ่น	20% โดยปริมาตรของแอสฟัลท์

ตารางที่ 3.2 การออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	จำนวนตัวแปร	รายละเอียด
ชนิดมวลรวม	1	หินปูน
ชนิดฝุ่น	3	ฝุ่นกากอ้อย ฝุ่นขุยมะพร้าว ฝุ่นหินปูน
ปริมาณฝุ่น	2	20% โดยปริมาตรของแอสฟัลท์
ชนิดแอสฟัลท์	3	AC 60-70, CB5 และ PMA
อุปกรณ์ที่ทดสอบ	3	IPAS2, Permeator, Indirect tensile strength
การออกแบบมวลรวม	2	ละเอียด, หยาบ
จำนวนทำซ้ำ	3	

ในการหาปริมาณของฟิลเลอร์จำเป็นต้องทราบความหนาแน่นของแต่ละฟิลเลอร์ ฝุ่นกากอ้อย และขุยมะพร้าวมีความหนาแน่นประมาณ 0.379 g / cm^3 และ 0.289 g / cm^3 ตามลำดับในขณะที่ฟิลเลอร์มีค่าเท่ากับ 2.62 g / cm^3 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าฟิลเลอร์จากธรรมชาติ(กากอ้อยและขุยมะพร้าว) มีความหนาแน่นน้อยกว่าฟิลเลอร์ชนิดแร่(หินปูน)ประมาณ 7-10 เท่า ดังนั้นหากใช้ฟิลเลอร์ในปริมาตรเท่ากันจะทำให้ฟิลเลอร์จากธรรมชาติน้อยกว่าฟิลเลอร์ชนิดแร่ในแง่ของน้ำหนัก



รูปที่ 3.1 (ซ้าย) กากอ้อย (ขวา) ขุยมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

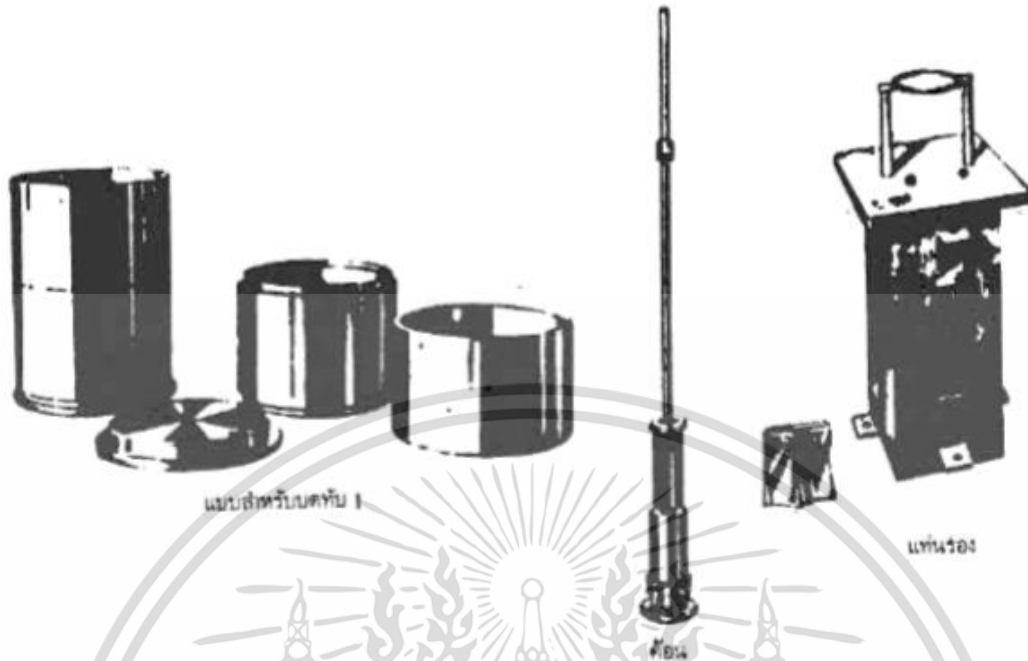


รูปที่ 3.1.2 กากอ้อยและขุยมะพร้าวที่ถูกบดละเอียดเพื่อนำไปกรองผ่านตะแกรงเบอร์ 200

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ภาชนะโลหะที่มีขอบสูงประมาณ 15 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 เซนติเมตร สำหรับใช้ผสมแอสฟัลท์คอนกรีต
2. เต้าอบที่สามารถให้อุณหภูมิถึง 200 องศาเซลเซียส
3. ภาชนะสำหรับใส่ยางมะตอยเข้าเต้าอบ
4. เครื่องใช้สำหรับใช้ผสมแอสฟัลท์คอนกรีต
5. เทอร์โมมิเตอร์ชนิดมีก้านเป็นโลหะ สามารถวัดอุณหภูมิได้ถึง 250 องศาเซลเซียส
6. เครื่องชั่งสามารถชั่งน้ำหนักได้ 6 กิโลกรัม มีความละเอียด 0.1 กรัม
7. อ่างต้มน้ำ(BOILING WATER BATCH) มีตะแกรงลวดสำหรับวางวัสดุแอสฟัลท์คอนกรีต ที่บดอัดแล้วและสามารถควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการได้

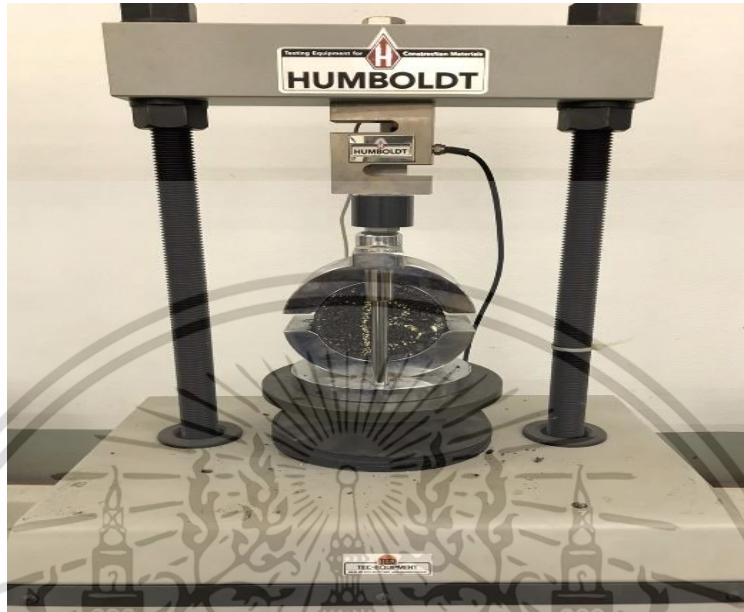
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.3 แบบสำหรับบดอัด ค้อน และแท่นรอง

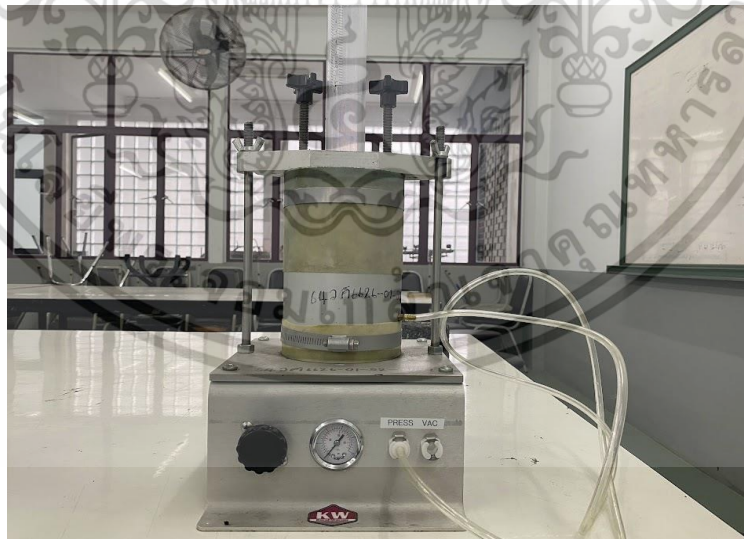
8. แท่นรอง (Compaction Pedestal) ประกอบด้วยฐานไม้ขนาดประมาณ 20x20x45 เซนติเมตร มีแผ่นโลหะขนาดประมาณ 30x30x2.5 เซนติเมตร ติดอยู่ที่ขอบบนของฐาน ไม้ ฐานไม้ควรเป็นไม้ที่มีความแน่นแห้งประมาณ 0.65-0.80 กรัมต่อมิลลิตร (42-48 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ ฟุต) แผ่นเหล็กจะต้องยึดแน่นกับฐานไม้ ดังรูปที่ 3.13
9. แบบสำหรับบดอัด (Compaction Mold) ประกอบด้วยแผ่นฐาน (Base Plate) แบบ (Mold) และ ปลอก (Collar Extension Mold) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10.16 เซนติเมตร (4 นิ้ว) สูง 7.62 เซนติเมตร (3 นิ้ว) ดังรูปที่ 3.1.3
10. ค้อน (Compaction Hammer) ประกอบด้วยแผ่นเหล็กกลมหนา 1.27 เซนติเมตร (0.5 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.842 เซนติเมตร (3.875 นิ้ว) ติดกับก้านเหล็กซึ่งมีแท่นเหล็กหนัก 4,536 กรัม (10 ปอนด์) เลื่อนขึ้นลงได้อิสระสำหรับทิ้งน้ำหนักลงบนแผ่นเหล็กกลม ในขณะบดอัด ระยะตกกระทบของแท่นน้ำหนัก เท่ากับ 45.72 เซนติเมตร (18 นิ้ว) ดังรูปที่ 3.1.3
11. ที่จับแบบ (Mold Holder) ใช้สำหรับบังคับให้แบบบดอัดอยู่กับที่ ดังรูปที่ 3.1.3
12. เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder)
13. ถังมือกันความร้อนใช้สำหรับหยิบเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ร้อน
14. ถังมือชนิดหนึ่งหรืออย่างสำหรับหยิบตัวอย่างที่แช่ในน้ำ

15. เครื่องทดสอบแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength Testing Machine) ดังรูปที่ 3.1.4



รูปที่ 3.1.4 Indirect Tensile Strength Testing Machine

16. เครื่องทดสอบการซึมผ่านน้ำ (Florida Permeator) ใช้สำหรับ ดังรูปที่ 3.1.5



รูปที่ 3.1.5 Florida Permeator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลท์คอนกรีต

ตัวอย่างทดสอบได้มีการผสมและบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D 6926 ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 408 หลังจากรู้แล้วว่าจะใช้น้ำหนักของขนาดคละมวลรวมอย่างละกี่กรัมตามที่ออกแบบไว้ จึงทำการร่อนมวลรวมซึ่งเป็นหินปูนผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน (U.S. Sieve) เป็นตะแกรงซึ่งมีตาเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ตะแกรงที่ใช้วัดขนาดของหินเริ่มจากเบอร์ 1/2" , 3/8" สำหรับตะแกรงคัดขนาดทรายมีขนาดเรียงกันคือเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 100 และ 200 ตัวเลขเบอร์บอกถึงจำนวนตาของตะแกรงต่อความยาว 1 นิ้ว เช่น ตะแกรงเบอร์ 30 หมายความว่า 1 นิ้ว แบ่งออกเป็น 30 ช่อง ดังนั้นใน 1 ตารางนิ้วจะมีจำนวนช่องทั้งสิ้น 900 ช่อง

วัสดุอุปกรณ์

1. หินปูน (Limestone)
2. ตะแกรงเบอร์ 1/2" , 3/8" , 4, 8, 16, 30, 50 100 และ 200
3. เครื่องเขย่าตะแกรง (SIEVE SHAKER)
4. ภาชนะไว้ใส่หินแต่ละขนาด
5. แปรงและเครื่องเป่าลมเพื่อทำความสะอาดตะแกรง

วิธีทำ

1. จัดวางตะแกรงดังนี้ 1/2" , 3/8" , 4, 8, 16, 30, 50 100 200 และ pan โดยวางตะแกรงจากบนไปล่างตามลำดับ
2. นำหินปูนที่เตรียมไว้ไปใส่ในตะแกรงบนสุดจากนั้นก็นำตะแกรงไปวางบนเครื่องเขย่าตะแกรง
3. เปิดเครื่องเขย่าตะแกรง แล้วตั้งเวลาเขย่า 15 นาที
4. หลังจากเครื่องเขย่าเสร็จแล้ว นำหินที่ค้างแต่ละตะแกรงไปใส่ภาชนะเพื่อแยกหินแต่ละขนาด
5. ทำตามขั้นตอนที่ 2 3 4 เรื่อย ๆ เพื่อให้ได้ปริมาณหินพอต่อการทดลอง



รูปที่ 3.2.1 เครื่องเขย่าตะแกรง (SIEVE SHAKER)



รูปที่ 3.2.2 ภาชนะใส่หินแต่ละขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั่นเอง ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีจันท์ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมตัวอย่างในการผสมมอดิไฟด์แอสฟัลท์คอนกรีต

คือวัสดุผสมที่ได้จากการผสมร้อนระหว่างมวลรวม (Aggregate) กับมอดิไฟด์แอสฟัลท์ซีเมนต์ (Modified Asphalt Cement) ที่โรงงานผสม (Mixing Plant) โดยควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการงานก่อสร้างงานบูรณะและงานบำรุงทาง ที่มีปริมาณการจราจรสูง โดยปฐหรือเกลี่ยแต่งและบดทับให้ถูกต้องตามแนว ระดับ ความลาด ขนาด รูปตัด ที่ได้แสดงไว้ในแบบ บนชั้นทางใดๆ ที่ได้เตรียมไว้และผ่านการตรวจสอบแล้ว มาตรฐานที่ ทล.-ม. 409/2549

วัสดุอุปกรณ์

1. น้ำยางมะตอยชนิด AC60-70
2. ผง carbon black
3. เครื่องปั่นและเตาให้ความร้อนพร้อมไม้สแตนเลสในการคนสำหรับการผสม
4. Thermometer และ ขาจับ เพื่อดูอุณหภูมิ
5. ภาชนะใส่ใส่ยางมะตอยที่แบ่งละพร้อมปั่น

การเตรียมตัวอย่างยางมะตอยผสมน้ำยางพารา

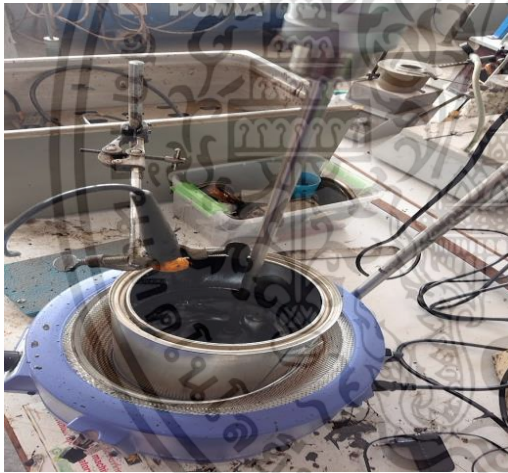
1. แบ่งยางมะตอย ชนิด AC60/70 ใส่กระป๋อง 3 ใบ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักให้ได้น้ำหนักเท่ากัน
2. นำกระป๋องที่บรรจุยางมะตอยไปเข้าตู้อบเป็นเวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิ 160 °C
3. เตรียมเครื่องปั่นตั้งค่าหัวปั่นให้หมุน 1000 รอบ/นาที และเตาให้ความร้อน (hot plate)
4. นำกระป๋องยางมะตอยที่อบเสร็จแล้วมาตั้งบนเตาให้ความร้อน ใช้เทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอลวัดอุณหภูมิยางมะตอยให้ได้ 160 °C จากนั้นค่อยๆ ใส่ผง carbon black 5% ของน้ำหนักยางมะตอย หลังจากใส่น้ำผง carbon black เสร็จรออีก 120 นาทีเพื่อปั่นผสมให้เข้ากับยางมะตอย
5. จากนั้นจะได้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง คือ ยางมะตอยที่ไม่ผสมยางพารา ยางมะตอยที่ผสมผง carbon black



รูปที่ 3.3.1 การอบยางมะตอยในตู้อบ



รูปที่ 3.3.2 การผสมยางมะตอยกับผง



รูปที่ 3.3.3 การผสมยางมะตอยกับผง



รูปที่ 3.3.4 ตัวอย่างการทดลอง

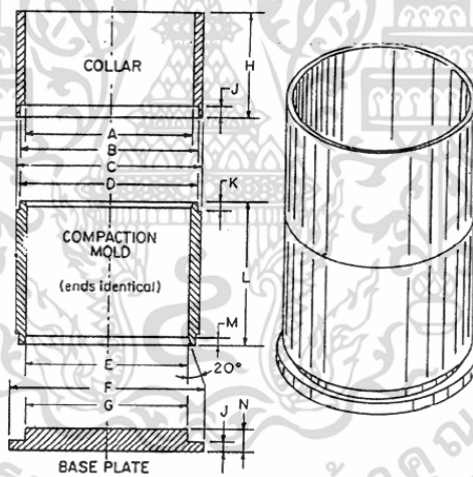
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การหาปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่เหมาะสม

ในการหาปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่เหมาะสมชนิด Dense graded คือ จะต้องทำให้ค่า ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids) เท่ากับ 4 – 6 เปอร์เซ็นต์ ตามที่กรมทางหลวงกำหนด และการหาปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่เหมาะสมชนิด Open graded คือ จะต้องทำให้ค่า ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids) เท่ากับ 18 – 24 เปอร์เซ็นต์

วัสดุและอุปกรณ์

1. หินปูนที่เตรียมไว้แล้วจากการคัดขนาด
2. ยางมะตอยหรือแอสฟัลท์ ที่เตรียมไว้แล้ว คือ ยางมะตอย AC60/70 ยางมะตอยผสมน้ำยางพารา 5% 10%
3. แบบสำหรับบดอัด (Compaction mold) ประกอบด้วย แผ่นฐาน (Base Plate) แบบ (Mold) และแบบปลอก (collar extension mold)



รูปที่ 3.4.1 แบบสำหรับบดอัด (Compaction mold)

4. ค้อนบดอัด (Compaction Hammer) ที่ใช้เป็นแบบยึดด้ามปล่อยด้วยมือ ประกอบด้วยแผ่นเหล็กกลมหนา 1.27 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.84 เซนติเมตร ติดกับก้านเหล็กซึ่งมีเหล็กหนัก 4.54 กิโลกรัม (10 ปอนด์) สำหรับทิ้งน้ำหนักลงบนแผ่นเหล็กกลมในขณะที่ทำการบดอัดให้มีระยะตกของแท่งเหล็กเท่ากับ 45.72 เซนติเมตร (18 นิ้ว)
5. แท่นรองรับการบดอัด (Compaction Pedestal) และที่จับแบบ (Mold Holder)
6. เตาอบ และอ่างน้ำร้อน (water bath)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ชุดเครื่องผสม
8. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบชั่งปกติ และชั่งน้ำหนักวัตถุในน้ำได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ขนาดตะขงของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ใช้(มาตรฐานที่ ทล.-ม.416/2556)

ชั้นทาง		Wearing Course		Binder Course	Base Course
ขนาดที่ใช้ เรียก	มิลลิเมตร	9.5	12.5	19.0	25.0
	นิ้ว	3/8	1/2	3/4	1
ความหนา (มิลลิเมตร)		25 – 35	40 – 70	40 – 80	70 – 100
ขนาดตะแกรง		ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล			
มิลลิเมตร	นิ้ว				
37.5	1 ½			100	
25.0	1			100	90 – 100
19.0	¾	-	100	90 – 100	-
12.5	½	100	80 – 100		56 – 80
9.5	3/8	90 – 100	-	56 – 80	-
4.75	No.4	55 – 85	44 – 74	35 – 65	29 – 59
2.36	No.8	32 – 67	28 – 58	23 – 49	19 – 45
1.18	No.16	-	-	-	-
0.600	No.30	-	-	-	-
0.300	No.50	7 – 23	5 – 21	5 – 19	5 – 17
0.150	No.100	-	-	-	-
0.075	No.200	2 – 10	2 – 10	2 – 8	1 – 7
ปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ (ร้อยละโดยมวล)		4.0 – 8.0	3.0 – 7.0	3.0 – 6.5	3.0 – 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

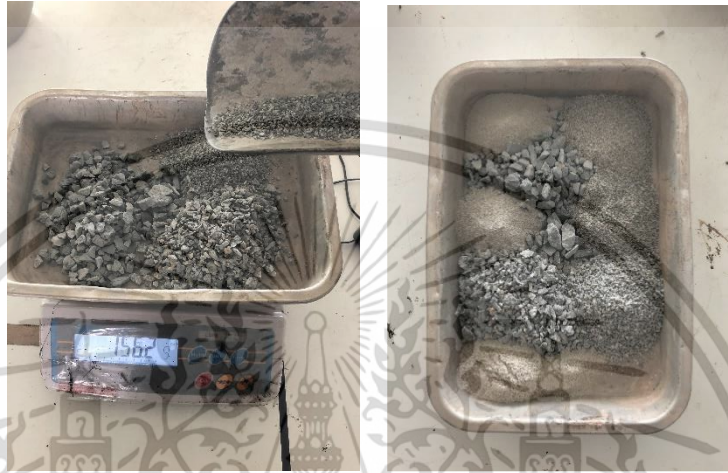
ตารางที่ 3.4 ขนาดตะแกรงของมวลรวมและปริมาณโพลิเมอร์โมดิไฟด์แอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ใช้
(มาตรฐานที่ ทล.-ม. 414/2542)

ขนาดตะแกรง		ปริมาณผ่านตะแกรงร้อยละโดยมวล
มิลลิเมตร	นิ้ว	
19	3/4	100
12.5	1/2	70 – 100
9.5	3/8	50 – 80
4.75	No. 4	15 – 30
2.36	No. 8	10 – 22
0.600	No. 30	6 – 13
0.075	No. 200	3 – 6
ปริมาณโพลิเมอร์โมดิไฟด์แอสฟัลท์ซีเมนต์ ร้อยละโดยมวลของมวลรวม		4.0 – 6.0
ความหนา	(มิลลิเมตร)	35 – 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบ

1. นำยางมะตอยชนิด AC60/70 และวัสดุมวลรวมที่จัดเตรียมไว้แล้วไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิผสม (mixing temperature) เป็นเวลา 90 นาที



รูปที่ 3.4.2 วัสดุมวลรวมที่จัดเตรียมไว้ก่อนเข้า

2. หลังจากอบเสร็จแล้วนำวัสดุมวลรวมมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นทำการใส่ยางมะตอยโดยลงใส่ 5 % ของน้ำหนักวัสดุมวลรวม
3. ทำการผสมหรือคลุกให้ยางมะตอยเคลือบวัสดุมวลรวม ซึ่งจะเรียกว่าแอสฟัลท์คอนกรีต



รูปที่ 3.4.3 การผสมยางมะตอยกับวัสดุมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อทำการผสมหรือคลุกให้ยางมะตอยเคลือบวัสดุมวลรวมจนเข้าที่แล้ว นำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-20 ชั่วโมง จากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น 147 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการบดอัด (compaction temperature) เป็นเวลา 90 นาที

5. หลังจากอบเสร็จแล้วนำแอสฟัลท์คอนกรีตมาเกลี่ยใส่บนกระดาษหนังสือพิมพ์ โดยทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิลดลง และนำแอสฟัลท์คอนกรีตไปใส่โมลเพื่อทำการบดอัด โดยใช้การตอกจำนวน 75 ครั้ง



รูปที่ 3.4.4 การเกลี่ยแอสฟัลท์คอนกรีต



รูปที่ 3.4.5 การบดอัดแอสฟัลท์คอนกรีต

6. เมื่อทำการบดอัดเสร็จแล้วปล่อยให้อุณหภูมิต่ำลงของแอสฟัลท์คอนกรีตลดลง โดยทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง ถึงจะนำก้อนแอสฟัลท์คอนกรีตออกจากตัวโมลได้



รูปที่ 3.4.6 การนำตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตออกจากแบบบดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. แบ่งแอสฟัลท์คอนกรีตที่เกลี่ยใส่บนกระดาษหนังสือพิมพ์ออกเป็น 4 ส่วน จากนั้นให้นำ 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามกันมารวมกัน แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก โดยการชั่งน้ำหนักในอากาศ และชั่งน้ำหนักในน้ำ เพื่อนำมาหาค่าเม็ดตัวอย่างทดลอง Gmm

8. นำก้อนแอสฟัลท์คอนกรีตมาชั่งน้ำหนัก โดยการชั่งน้ำหนักในอากาศ ชั่งน้ำหนักอิมมัตวผิวแห้ง และชั่งน้ำหนักในน้ำ เพื่อนำมาหาค่าก้อนตัวอย่างทดลอง Gmb

9. นำค่า Gmm และ Gmb มาหาค่าปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)

10. ทำตามขั้นตอนตั้งแต่ต้น เพื่อเพิ่มหรือลดปริมาณเปอร์เซ็นต์ยางมะตอยที่ใส่ลงไปผสมกับวัสดุมวลรวม

การคำนวณหาค่า ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)

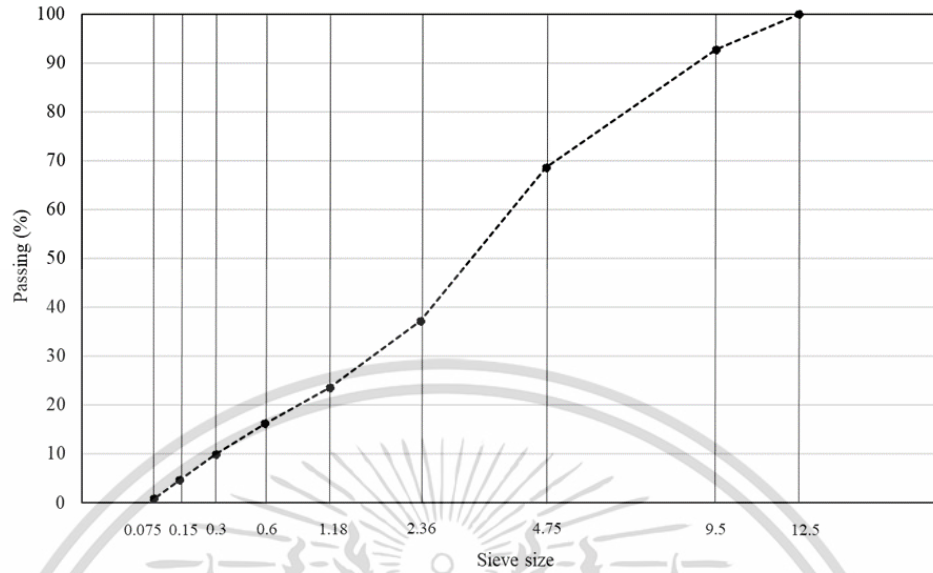
$$Gmm = \frac{\text{น้ำหนักที่ชั่งในอากาศ}}{\text{น้ำหนักที่ชั่งในอากาศ} - \text{น้ำหนักที่ชั่งในน้ำ}} \quad Gmb = \frac{\text{น้ำหนักที่ชั่งในอากาศ}}{\text{น้ำหนักอิมมัตวผิวแห้ง} - \text{น้ำหนักที่ชั่งในน้ำ}}$$

3.5 วิธีดำเนินการวิจัย

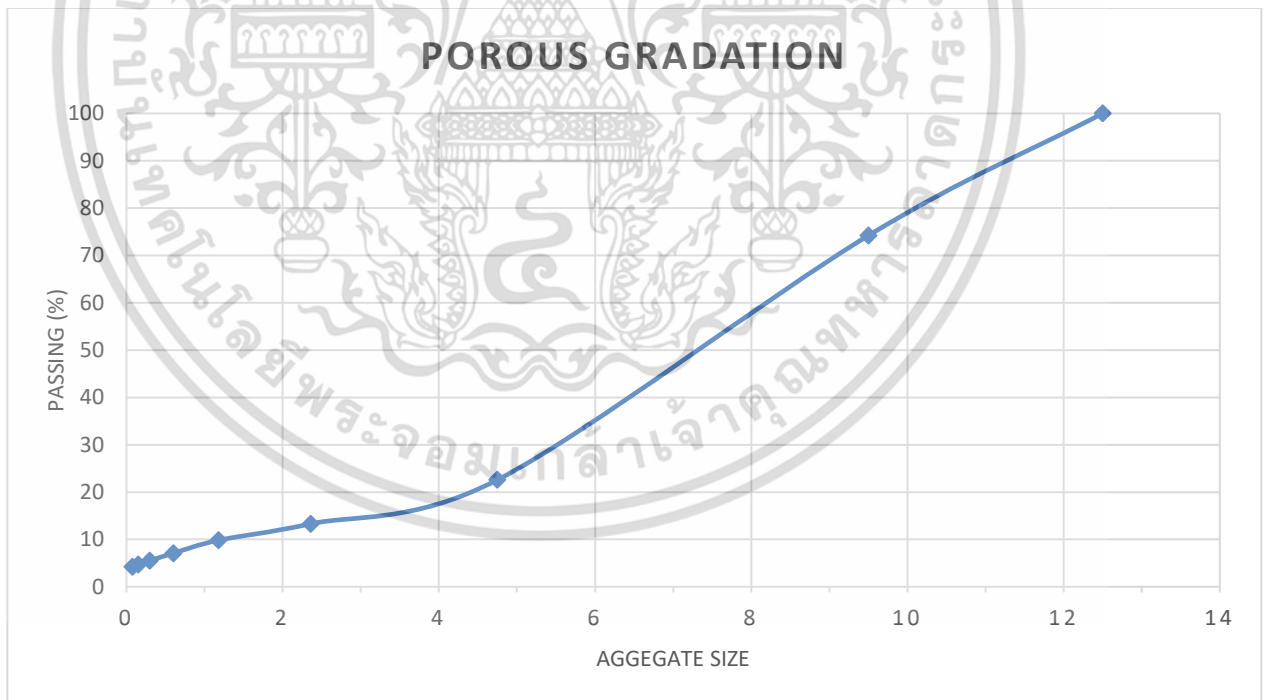
การศึกษาโครงการนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. ส่วนทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ของการซึมผ่านของน้ำกับปัจจัยต่างๆของคอนกรีตแอสฟัลท์ของชั้นผิวทาง 2. การวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของชั้นผิวทางโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยส่วนที่ 1 คือการใช้เครื่องมือ Florida permeator ในการหาการซึมผ่านของน้ำในแอสฟัลท์คอนกรีต โดยส่วนที่ 2 คือ การวิเคราะห์ระยะเชื่อมต่อกันของ aggregate เพื่อแสดงความสัมพันธ์กับผลรวมของระยะเชื่อมกันของมวลรวมโดยวิธี IPAS2

การทดสอบการประเมินการใช้ฝุ่นจากกากอ้อยและขุยมะพร้าวเพื่อเพิ่มการต้านทานความเสียหายจากความชื้น

การศึกษานี้ใช้ฝุ่นทั้ง 3 ชนิด คือ ฝุ่นกากอ้อย ฝุ่นขุยมะพร้าว และ ฝุ่นหินปูน ร่วมกับชนิดของแอสฟัลท์ 3 ชนิด คือ AC60-70, CB5 และ PMA หินปูน ในการผสมแต่ละตัวอย่างโดยควบคุมชนิดของมวลรวมและปริมาณฝุ่นคือ หินปูน และ ปริมาณฝุ่น 20% ใช้การกระจายมวลรวมดังรูปที่ 3.6 และ การออกแบบการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.5.1 การกระจายมวลรวม Dense Graded



รูปที่ 3.5.2 การกระจายมวลรวมของการทดลอง Open Graded

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 การออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	จำนวนตัวแปร	รายละเอียด
ชนิดมวลรวม	1	หินปูน
ชนิดฝุ่น	4	ฝุ่นกากอ้อย ฝุ่นขุยมะพร้าว ฝุ่นหินปูน
ปริมาณฝุ่น	2	20% โดยปริมาตรของแอสฟัลท์
ชนิดแอสฟัลท์	1	AC 60-70, CB5, PMA
สภาวะ	2	แห้งและความชื้น
จำนวนตัวอย่าง	2	

3.6 การทดสอบหาค่าแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength Test)

การทดสอบความต้านทานแรงดึงทางอ้อม (ITS) ตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน AASHTO T283 ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อตรวจสอบความต้านทานต่อความชื้นในส่วนผสมของยางมะตอย ความต้านทานแรงดึงทางอ้อมของชิ้นงานทดสอบกำหนดด้วยอัตราการบรรทุก 51 มม. / นาที ค่าสูงสุดจะถูกบันทึกและหารด้วยปัจจัยทางเรขาคณิตเพื่อให้ได้ความต้านทานแรงดึงตามที่แสดงในสมการ (1)

$$S_t = \frac{2000P}{\pi tD} \quad (1)$$

โดยที่ S_t = ความต้านทานแรงดึงทางอ้อม (kPa), P = น้ำหนักบรรทุกสูงสุด (N), t = ความสูงของชิ้นงานทดสอบทันทีก่อนการทดสอบ (มม.) และ D = เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน (มม.)

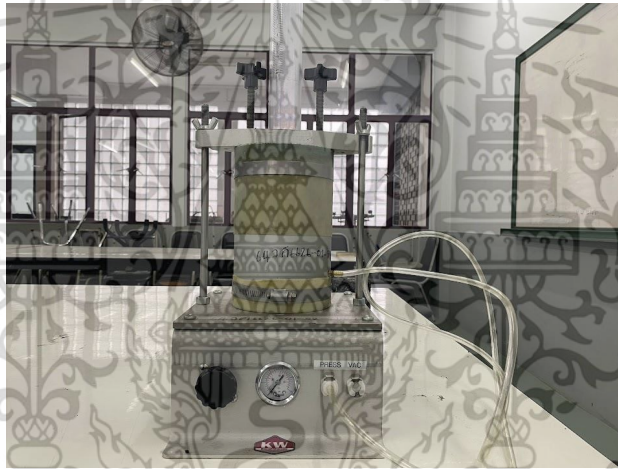
มีการทดสอบ 2 สภาวะ (แห้งและความชื้น) ในสภาวะแห้งตัวอย่างจะถูกเก็บไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปทดสอบ ในสภาวะความชื้นตัวอย่างจะถูกเก็บไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 ± 1 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บไว้ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิห้องอีก 2 ชั่วโมง วิธีการทดสอบถูกนำไปใช้ในระบบ Superpave ที่วัดโดยเครื่องทดสอบ ITS เพื่อตรวจสอบความไวต่อความชื้นของส่วนผสมแอสฟัลท์ ตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะสองสภาวะได้รับการทดสอบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของความต้านทานแรงดึงแต่ละครั้ง จากนั้นจึงคำนวณอัตราส่วนความต้านทานแรงดึง (TSR) เพื่อกำหนดส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับความต้านทานต่อความเสียหายจากความชื้นดังแสดงในสมการ (2)

$$TSR = \frac{\text{ค่าแรงดึงในสภาวะความชื้น}}{\text{ค่าแรงดึงในสภาวะแห้ง}} \times 100 \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

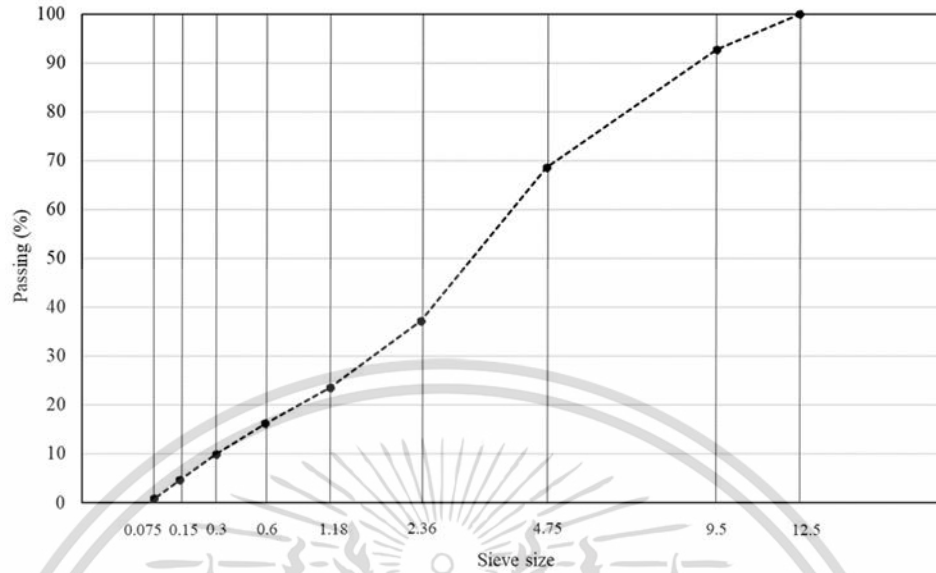
3.7 การใช้เครื่องมือ Florida permeator ในการหาการซึมผ่านของน้ำในในแอสฟัลท์ คอนกรีตการทดสอบหาค่าการซึมผ่านของน้ำ (Florida Permeator Test)

วิธีทดสอบการซึมผ่านของแอสฟัลท์ที่ใช้กันแพร่หลายคือวิธีของ Florida permeability ฟลอริดา ใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าการซึมผ่านของน้ำในก้อนตัวอย่างแอสฟัลท์ สามารถใช้ตัวอย่างภาคสนาม หรือห้องปฏิบัติการในชั้นตอนนี้ ชั้นตอนนี้ใช้เครื่องทดสอบการซึมผ่านของ falling head ซึ่งใช้ในการ กำหนดอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างแอสฟัลท์ เครื่องทดสอบใช้กระบอกสูบแบบไล่ระดับซึ่ง บรรจุด้วยปริมาตรน้ำที่กำหนดไว้และให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างแอสฟัลท์และจดค่าที่เปลี่ยนแปลงไปโดยใช้กฎ ของดาร์ซี ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสามารถคำนวณตามสมการที่ 2.3 (ASTM D5084) (FM 5-565)

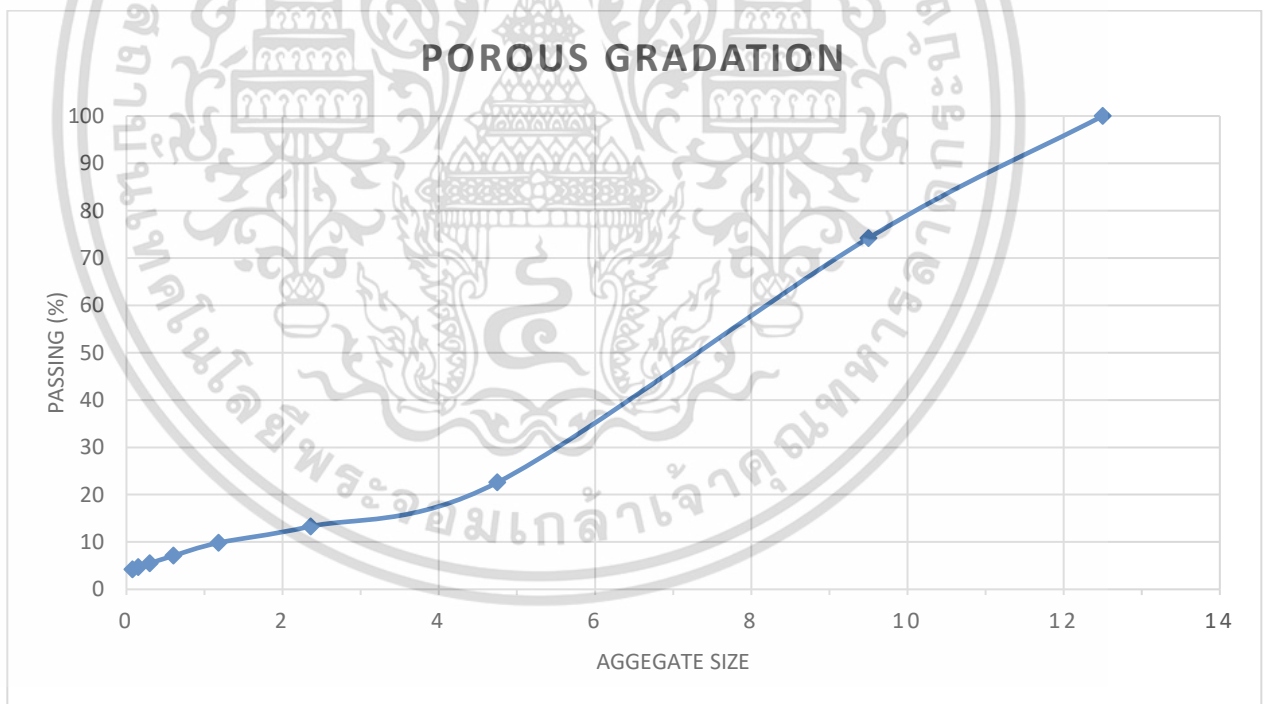


รูปที่ 3.6.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวแปรสำหรับการศึกษาระยะนี้แบ่งออกเป็น 2 ตัวแปร ประกอบด้วย ชนิดฝุ่น และ ชนิดแอสฟัลท์ โดยควบคุมชนิดมวลรวมและปริมาณฝุ่น ในการผสมแต่ละตัวอย่างใช้การกระจายมวลรวมดังรูปที่ 3.6.1 และ การออกแบบการทดลองเป็นไปตามรูปที่ 3.6.2



รูปที่ 3.6.2 การกระจายมวลรวมของการทดลอง



รูปที่ 3.6.2 การกระจายมวลรวมของการทดลอง

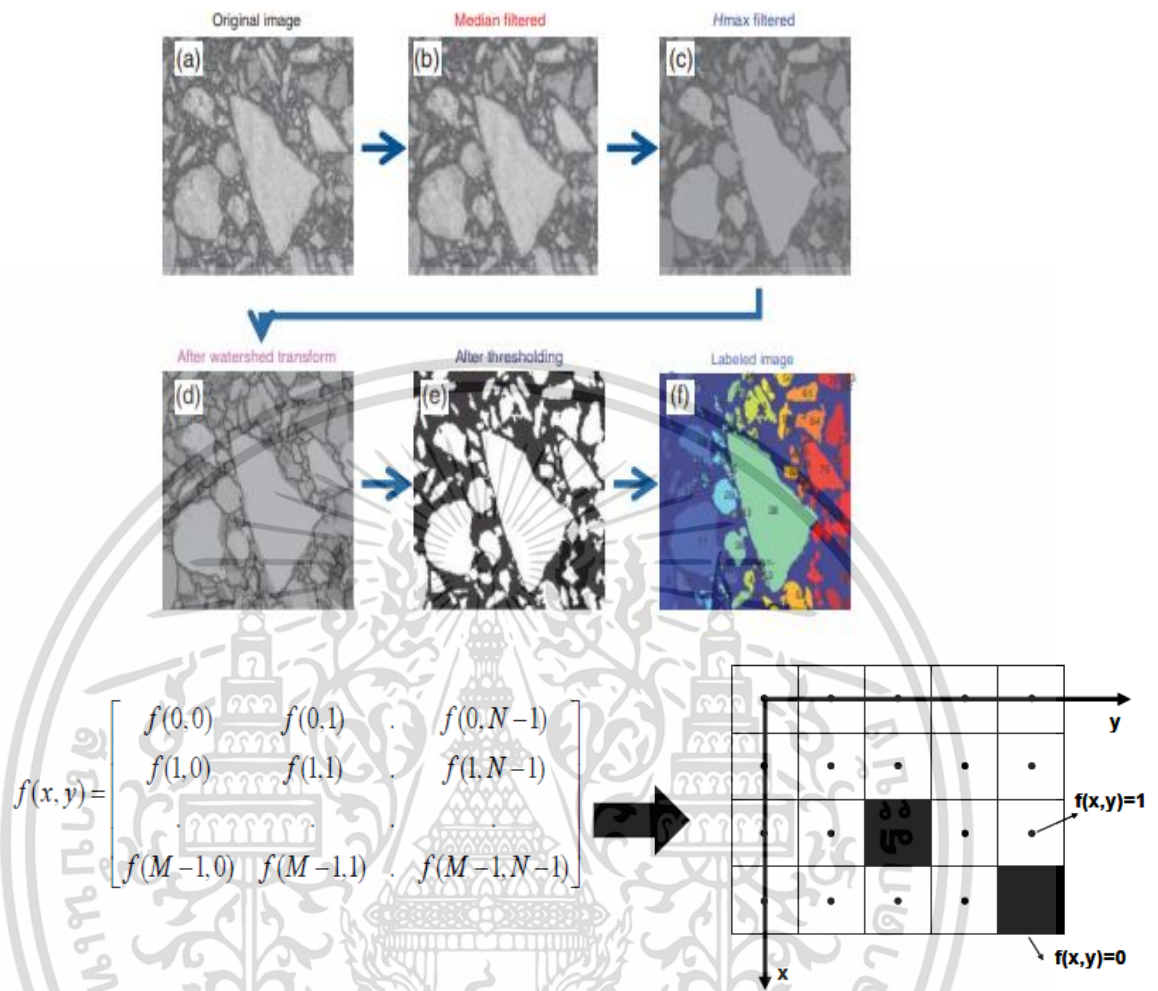
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 การออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	จำนวนตัวแปร	รายละเอียด
ชนิดมวลรวม	1	หินปูน
ชนิดฝุ่น	3	ฝุ่นมะพร้าว และ ฝุ่นกากอ้อย
การออกแบบมวลรวม	2	Dense gradation Open gradation
ปริมาณฝุ่น	2	20%
ชนิดแอสฟัลท์	3	AC 60-70, CB5 และ PMA
จำนวนตัวอย่าง	2	

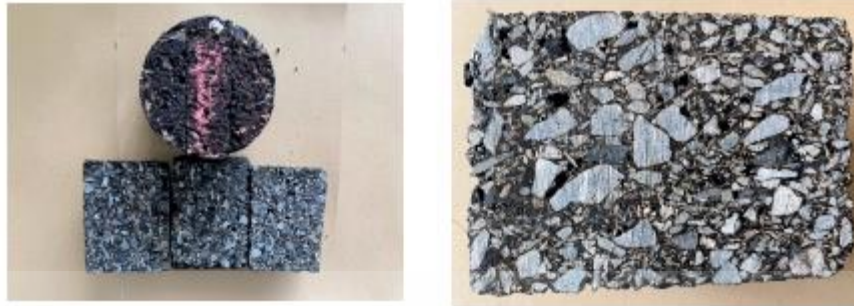
3.8 การนำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ระยะเชื่อมต่อกันของ aggregate เพื่อแสดงความสัมพันธ์กับผลรวมของระยะเชื่อมกันของมวลรวมโดยวิธี IPAS2

IPAS เป็นเครื่องมือสำหรับค้นหาการเชื่อมต่อแบบรวมและแสดงเครือข่ายการล็อกแบบรวม วิธีการวิเคราะห์ที่จำเป็นในการเตรียมตัวอย่างการตัดแต่งแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงภาพสแกนของตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตที่ตัดแล้วซึ่งประมวลผลด้วย Digital Image Processing Algorithm Image Processing) เพื่อแปลงภาพสี (RGB (แดง-เขียว-น้ำเงิน)) เป็นภาพไบนารี (ขาวดำ) จากนั้นสามารถคำนวณสีไบนารีได้จากเมทริกซ์ดังรูปที่ 2.4 ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อ รับพารามิเตอร์โครงสร้างภายในแอสฟัลท์คอนกรีต เช่น จำนวนหน้าสัมผัสและการแยกมวลรวม (Coenen 2011, Coenen et al. 2011) สีของภาพที่สแกนคือสี RGB ซึ่งถือเป็นเมทริกซ์สามมิติใน MATLAB แต่ละสีที่พิกเซลเฉพาะอย่างใดก็ตาม จำเป็นต้องกำหนดรูปทรงเรขาคณิตของแต่ละเฟส นั่นคือ มวลรวมและแอสฟัลท์สีเหลืองอ่อน ภาพระดับสีเทาถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์และแยกความแตกต่างของมวลรวมและยางมะตอยสีเหลืองอ่อน เนื่องจากสีของทั้งสองช่วงมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในด้านความเข้ม เมทริกซ์ระดับสีเทาเป็นเมทริกซ์สองมิติใน MATLAB (รูปที่ 2) สุดท้าย ภาพระดับสีเทาจะถูกแปลงเป็นสีไบนารีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค มีตัวกรองบางตัวที่จำเป็นในการปรับปรุงคุณภาพของภาพเพื่อแยกส่วนต่างๆ ของวัสดุ ฟิลเตอร์รูปภาพประกอบด้วย 1. ค่ามัธยฐาน 2. ภูมิภาคสูงสุด (เช่น Hmax) 3. Watershed 4. Threshold และ 5. เทคนิคการกัดเซาะเพื่อให้ได้ภาพไบนารีที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับภาพจริง



รูปที่ 3.71 การคำนวณ Digital image โดยใช้เมทริกซ์ในโปรแกรม MATLAB (Roohi,2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

(b)



(c)

(d)

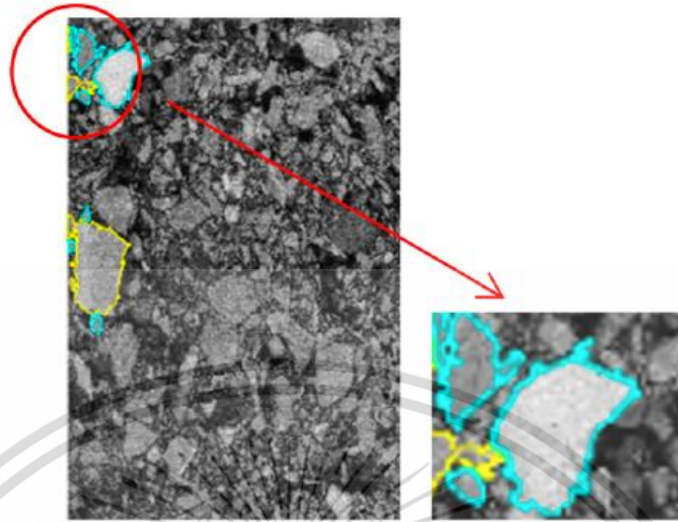


(e)

รูปที่ 3.72 การคำนวณ Digital image โดยใช้โปรแกรม IPAS

(a)เตรียมตัวอย่าง (b)แบ่งตัวอย่างออกเป็นสามส่วน (c)ใช้เครื่องสแกนเพื่อถ่ายภาพตัวอย่าง
 (d)ปรับรูปภาพโดยการครอบตัดเพื่อเตรียมสำหรับการป้อนข้อมูลลงในรูปภาพและซอฟต์แวร์การวิเคราะห์ (e) วิเคราะห์ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.73 การประมวลผลในโปรแกรม IPAS ตัวอย่างการประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบหาค่า air voids

การทดสอบการหาช่องว่างในอากาศการดูดซับแอสฟัลท์ของมวลรวมมีผลต่อปริมาณของช่องว่างอากาศในส่วนผสม HMA เมื่อช่องว่างอากาศของ HMA เกินกว่าร้อยละ 8 โดยปริมาตรอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อความชื้นจากแรงดันน้ำหรือการขยายตัวของน้ำแข็ง ในการแก้ไขปัญหานี้การออกแบบส่วนผสม HMA จะปรับปริมาณแอสฟัลท์และการเคลือบของมวลรวมเพื่อทำให้เกิดช่องว่างอากาศประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ โดยผู้วิจัยได้ค่าช่องว่างในการจากการทดลองน้ำยางมะตอย 3 ชนิดโดยเป็น Ac60-70 และ Cb5 ในการออกแบบ Dense Graded และ PMA ในการออกแบบ Open Graded

ช่องว่างอากาศ(Air Voids)ผิวทางแอสฟัลท์ที่บดทับแล้วจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องมีปริมาตรช่องว่างอากาศที่เพียงพอ แต่ไม่มากเกินไป ปริมาตร ช่องว่างอากาศมีผลต่อความคงทน (Durability)และการใช้งานของผิว ทางแอสฟัลท์คอนกรีต กล่าวคือ ปริมาตรช่องว่างอากาศยิ่งน้อยเท่าใด น้ำและอากาศจะซึมผ่านเข้าไปทำลายแอสฟัลท์และการยึดเกาะระหว่าง วัสดุมวลรวมกับแอสฟัลท์ได้ยากเท่านั้นทำให้ผิวทางมีอายุยืนยาว แต่ 25 อย่างไรก็ตามหากปริมาตรช่องว่างอากาศน้อยเกินไปจะทำให้แอสฟัลท์ ทะลักขึ้นมาบนผิวเกิดการเยิ้ม (Bleeding) นอกจากนี้ช่องว่างอากาศยัง เป็นที่รองรับแอสฟัลท์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนด้วย สำหรับผิวทางชั้น บนสุดจะออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศร้อยละ 3 – 5 ขึ้นอยู่กับปริมาณและน้ำหนักของรถที่แล่นบนผิวทาง ส่วนผิวทางชั้นล่างอาจ ออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างได้มากกว่า เช่น ร้อยละ 4 -7 โดยผู้วิจัยได้ค่าช่องว่างในการจากการทดลองน้ำยางมะตอย 3 ชนิดโดยเป็น Ac60-70 และ Cb5 ในการออกแบบ Dense Graded และ PMA ในการออกแบบ Open graded ดังนี้

ตารางที่ 4.1 การทดสอบหาค่า Air voids ชนิด Ac60-70

ยางมะตอยชนิด AC 60/70 + Coconut filler		
ปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ 5 % ของน้ำหนักมวลรวม		
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	642	614
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	641	623
G _{mm}	2.432	2.417
G _{mm} เฉลี่ย	2.425	
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	1226.200	1226.200
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	711.000	711.000
น้ำหนักก๊อิมตัวผิวแห้ง (กรัม)	1240.000	1240.000
G _{mb}	2.318	2.318
G _{mb} เฉลี่ย	2.318	
ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)	4.403	
ยางมะตอยชนิด AC 60/70 + Bagasse		
ปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ 5 % ของน้ำหนักมวลรวม		
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	668.000	688.000
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	649.000	657.000
G _{mm}	2.369	2.340
G _{mm} เฉลี่ย	2.354	
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	1244.800	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	710.000	
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง (กรัม)	1260.550	
G _{mb}	2.261	
G _{mb} เฉลี่ย	2.261	
ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)	3.617	
ยางมะตอยชนิด AC 60/70 + Limestone filler		
ปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ 5 % ของน้ำหนักมวลรวม		
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	641.800	625.200
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	649.000	638.000
G _{mm}	2.509	2.499
G _{mm} เฉลี่ย	2.504	
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	1260.200	
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	731.000	
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง (กรัม)	1261.000	
G _{mb}	2.378	
G _{mb} เฉลี่ย	2.378	
ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)	4.403	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.2 การทดสอบหาค่า Air voids ชนิด CB5

ยางมะตอยชนิด AC60/70+CB5 + Coconut filler		
ปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ 7.3 % ของน้ำหนักมวลรวม		
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	629.800	647.600
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	637.000	654.000
G _{mm}	2.462	2.524
G _{mm} เฉลี่ย	2.493	
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	1264.400	
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	736.000	
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง (กรัม)	1265.800	
G _{mb}	2.387	
G _{mb} เฉลี่ย	2.387	
ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)	4.269	
ยางมะตอยชนิด CB5 + Bagasse filler		
ปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ 7.5 % ของน้ำหนักมวลรวม		
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	600.800	680.600
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	626.000	670.000
G _{mm}	2.526	2.488
G _{mm} เฉลี่ย	2.506	
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	1258.200	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	736.000	
น้ำหนักอิมตัวผิวแห้ง (กรัม)	1259.000	
G _{mb}	2.406	
G _{mb} เฉลี่ย	2.406	
ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)	3.988	
ยางมะตอยชนิดCB5 + Limestone filler		
ปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ 6 % ของน้ำหนักมวลรวม		
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	625.000	624.400
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	632.000	630.000
G _{mm}	2.441	2.426
G _{mm} เฉลี่ย	2.434	
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	1248.200	
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	718.000	
น้ำหนักอิมตัวผิวแห้ง (กรัม)	1253.000	
G _{mb}	2.333	
G _{mb} เฉลี่ย	2.333	
ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)	4.130	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.3 การทดสอบหาค่า Air voids ชนิด PMA

Porous Asphalt		
ยางมะตอยชนิด PMA + Coconut filler		
ปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ 4.5 % ของน้ำหนักมวลรวม		
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	619.200	610.600
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	672.000	663.000
G _{mm}	2.946	2.899
G _{mm} เฉลี่ย	2.923	
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	1258.200	
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	736.000	
น้ำหนักกอมตัวผิวแห้ง (กรัม)	1259.000	
G _{mb}	2.406	
G _{mb} เฉลี่ย	2.406	
ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)	17.683	
ยางมะตอยชนิด PMA + Bagasse filler		
ปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ 4.5 % ของน้ำหนักมวลรวม		
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	558.600	610.200
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	632.000	668.000
G _{mm}	2.946	2.974
G _{mm} เฉลี่ย	2.960	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

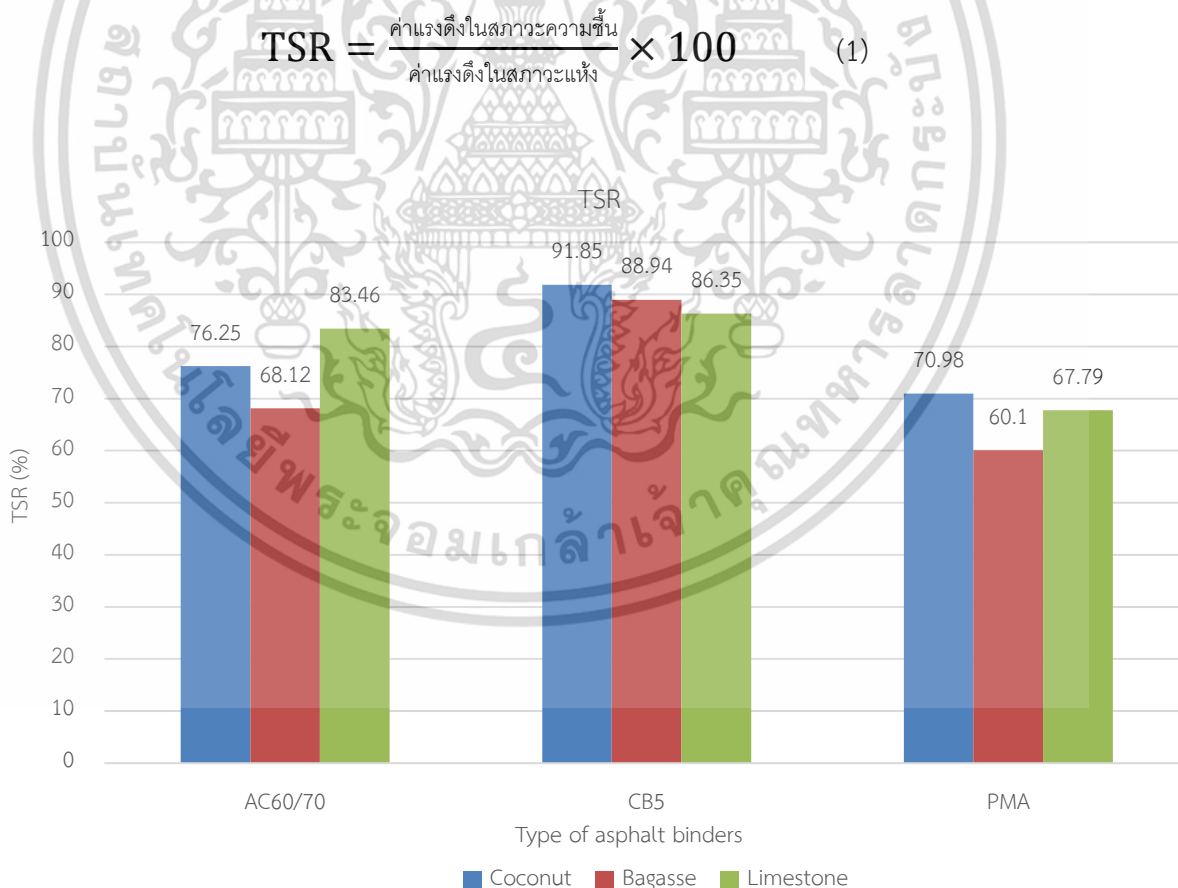
น้ำหนักซังในอากาศ (กรัม)	1201.400	
น้ำหนักซังในน้ำ (กรัม)	719.000	
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง (กรัม)	1229.000	
G_{mb}	2.356	
G_{mb} เฉลี่ย	2.356	
ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)	20.49	
ยางมะตอยชนิด PMA + Limestone filler		
ปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ 7.5 % ของน้ำหนักมวลรวม		
น้ำหนักซังในอากาศ (กรัม)	620.000	611.400
น้ำหนักซังในน้ำ (กรัม)	667.000	662.000
G_{mm}	2.870	2.879
G_{mm} เฉลี่ย	2.874	
น้ำหนักซังในอากาศ (กรัม)	1206.400	
น้ำหนักซังในน้ำ (กรัม)	722.000	
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง (กรัม)	1237.000	
G_{mb}	2.343	
G_{mb} เฉลี่ย	2.343	
ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)	18.504	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบหาค่าแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength Test)

Indirect tensile strength (IDT)

การทดสอบความแข็งแรงของ IDT เพื่อวิเคราะห์ความต้านทานของความเสียหายเนื่องจากความชื้นของการออกแบบส่วนผสม ค่าของ IDT สามารถหาร้อยละของการสูญเสียเนื่องจากความชื้นโดยให้ได้ค่า tensile strength ratio (TSR) จากสมการที่ 1 อาจใช้ในการประเมินคุณภาพของสารผสมยางมะตอยร่วมกับการทดสอบการออกแบบส่วนผสมอื่นในห้องปฏิบัติการ และเพื่อประเมินศักยภาพในการเกิดความเสียหายเนื่องจากความชื้น เช่น การหลุดร่อนของมวลรวม ผลลัพธ์ยังสามารถใช้เพื่อกำหนดความเป็นไปได้ของความเสียหายจากความชื้นบนผิวทางสนามเมื่อได้ผลลัพธ์จากทั้งชิ้นงานที่ปรับความชื้นและไม่มีการปรับสภาพ การทดสอบได้ทำการทดสอบยางมะตอย 3 ชนิดคือ 1) ยาง AC-60/70 2) ยาง AC 60/70+Carbon black (CB5) 3) ยาง Polymer modified asphalt (PMA) โดยที่ใช้ฝุ่นที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ฝุ่นหินปูน ฝุ่นขุยมะพร้าว ฝุ่นกากอ้อย



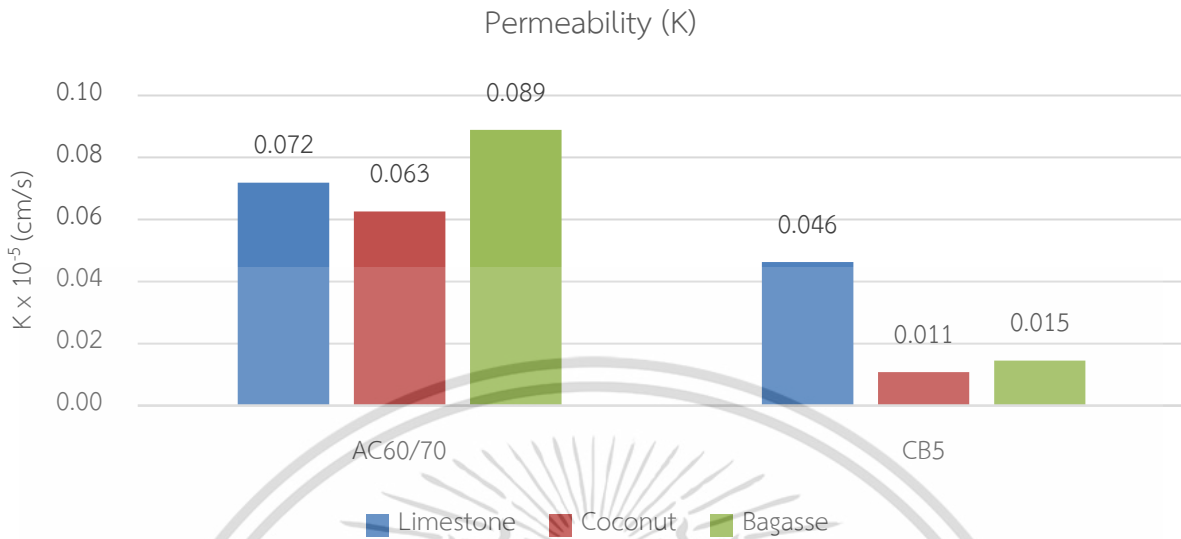
รูปที่ 4.2.1 ค่า TSR ของแต่ละชนิดของยางมะตอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2.1 แสดงให้เห็นว่ายางมะตอย AC 60/70 ผสมกับหินปูนให้ค่า TSR มากที่สุดที่ 83% โดยที่ยางมะตอย AC 60/70 ผสมกับขุยมะพร้าว และยางมะตอย AC 60/70 ผสมกับกากอ้อยมีค่า 76% และ 68% ตามลำดับ และยางมะตอย CB5 ผสมกับฝุ่นขุยมะพร้าวให้ค่า TSR มากที่สุดที่ 91.85% โดยที่ยางมะตอย CB5 ผสมกับกากอ้อย และยางมะตอย CB5 ผสมกับฝุ่นหินปูนมีค่า 88.94% และ 86.35% ตามลำดับ ขณะที่ยางมะตอย PMA ผสมกับฝุ่นขุยมะพร้าวให้ค่า TSR มากที่สุดที่ 70.98% โดยที่ยางมะตอย PMA ผสมกับหินปูน และยางมะตอย PMA ผสมกับฝุ่นกากอ้อยมีค่า 66.7% และ 60.1% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชนิด

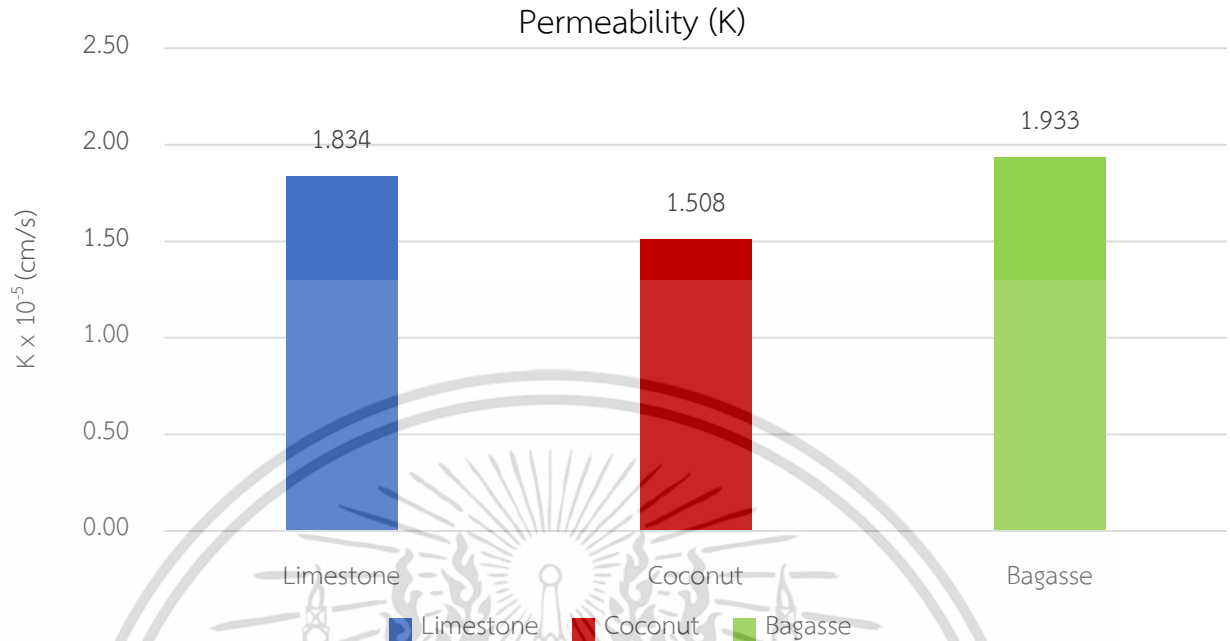
4.3 Permeability

ปัจจัยทางด้านความชื้นซึ่งเป็นผลมาจากการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) ไม่ดีเพียงพอ โดยส่วนใหญ่เกิดจากน้ำที่ขังเนื่องจากฝนหรือการระบายน้ำในบริเวณนั้นไม่มีประสิทธิภาพทำให้น้ำแทรกเข้าไปในช่องว่างของแอสฟัลท์กับมวลรวมและทำให้การยึดเกาะของแอสฟัลท์เสื่อมลง อีกปัจจัยหนึ่งคือการเพิ่มขึ้นของช่องว่างอากาศ (Air void) ในแอสฟัลท์คอนกรีตซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) การทดสอบหาค่าความซึมผ่านน้ำใช้เครื่องมือทดสอบการซึมผ่านของน้ำของวัสดุตามมาตรฐาน ASTM D5084 ดยวัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 1. ประเภทของแอสฟัลท์ที่แตกต่างกัน 2. แหล่งที่มาของมวลรวมที่แตกต่างกัน 3. การออกแบบการใช้มวลรวมที่หลากหลาย (Aggregate Gradation) ซึ่งการออกแบบได้แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ 1.แอสฟัลท์คอนกรีตแบบทั่วไป (3-5% AV) และแอสฟัลท์คอนกรีตแบบมีรูพรุน (Porous asphalt) (16-21%AV) เพื่อวิเคราะห์การใช้ชนิดน้ำยางมะตอยแต่ละชนิดและฝุ่นแต่ละชนิดมีค่าความแตกต่างกันอย่างไรเพื่อนำไปศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเชื่อมกันของมวลรวม (Aggregate contact lengths) และการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) โดยผลการทดลองเป็นไปตามรูปที่ 4.3.1 และ 4.3.2



รูปที่ 4.3.1 ค่าเฉลี่ยค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลของน้ำในแอสฟัลท์คอนกรีตแบบทั่วไป (Dense Graded Asphalt)

รูปที่ 4.3.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลของน้ำในแอสฟัลท์คอนกรีตแบบทั่วไปโดยที่ส่วนผสมของ AC60/70 ร่วมกับฝุ่นขุยมะพร้าวมีค่าน้อยที่สุดที่ 0.063×10^{-5} cm/s เมื่อเทียบกับค่าส่วนผสมของ AC60/70 กับหินปูนและฝุ่นกากอ้อยที่มีค่าการซึมผ่านน้ำอยู่ที่ 0.072×10^{-5} cm/s และ 0.089×10^{-5} cm/s ตามลำดับ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลของน้ำในแอสฟัลท์คอนกรีตแบบทั่วไปโดยที่ส่วนผสมของ CB5 ก็มีแนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลใกล้เคียงกับยางมะตอย AC60/70 ซึ่งค่าน้อยที่สุดคือส่วนผสมระหว่าง CB5 กับฝุ่นขุยมะพร้าว แต่ค่าส่วนผสมของ CB5 กับหินปูนมีค่ามากกว่าของฝุ่นกากอ้อย โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลของน้ำของส่วนผสม CB5 กับหินปูนมีค่า 0.046×10^{-5} cm/s ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลของน้ำของ CB5 กับฝุ่นกากอ้อยมีค่า 0.015×10^{-5} cm/s ด้วยเหตุนี้จึงสามารถบอกเป็นนัยได้ว่าการซึมผ่านของน้ำโดยใช้ฝุ่นขุยมะพร้าวเป็นส่วนผสมในแอสฟัลท์มีค่าดีที่สุด



รูปที่ 4.3.2 ค่าเฉลี่ยค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลของน้ำในแอสฟัลท์คอนกรีตแบบมีรูพรุน (Porous asphalt)

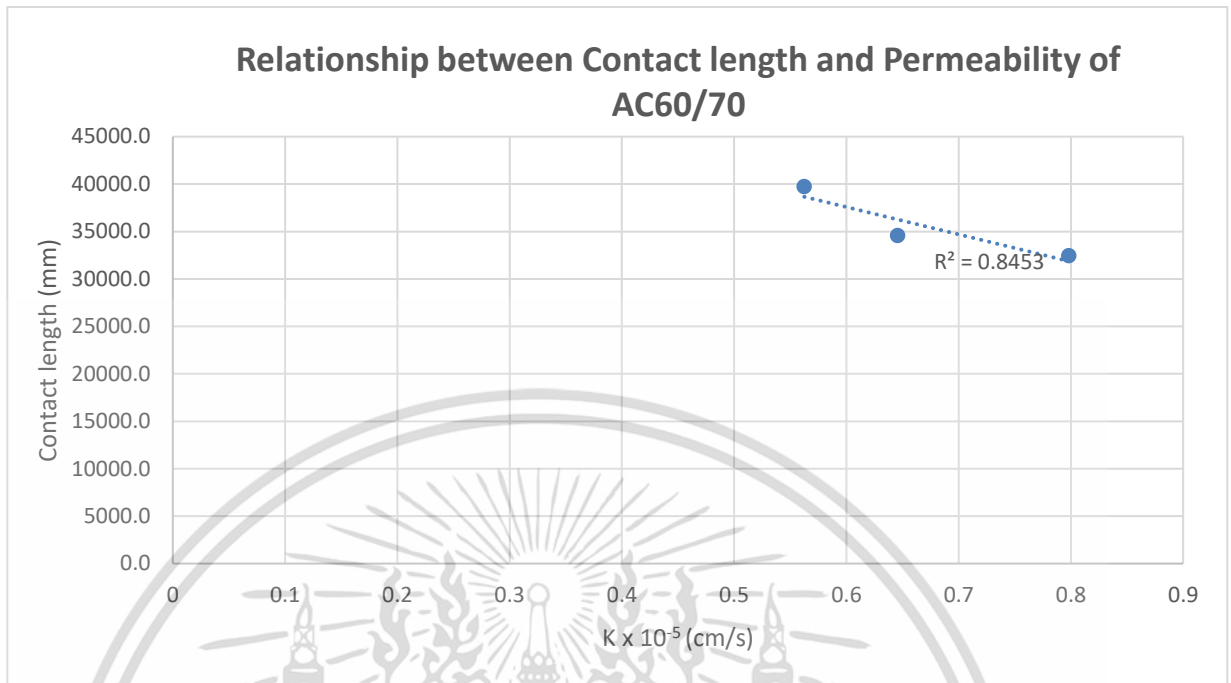
รูปที่ 4.3.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลของน้ำในแอสฟัลท์คอนกรีตแบบมีรูพรุนโดยที่ส่วนผสมของ PMA กับฝุ่นขุยมะพร้าวมีค่าน้อยที่สุดที่ 1.508×10^{-5} cm/s เมื่อเทียบกับค่าส่วนผสมของ AC60/70 กับฝุ่นหินปูนและฝุ่นกากอ้อยที่มีค่าการซึมผ่านน้ำอยู่ที่ 1.834×10^{-5} cm/s และ 1.933×10^{-5} cm/s ตามลำดับ สามารถบอกเป็นนัยได้ว่าการซึมผ่านของน้ำที่มีส่วนผสมของขุยมะพร้าวมีค่าที่ดีที่สุด รองลงมาคือหินปูนและกากอ้อยตามลำดับ

4.3 IPAS2

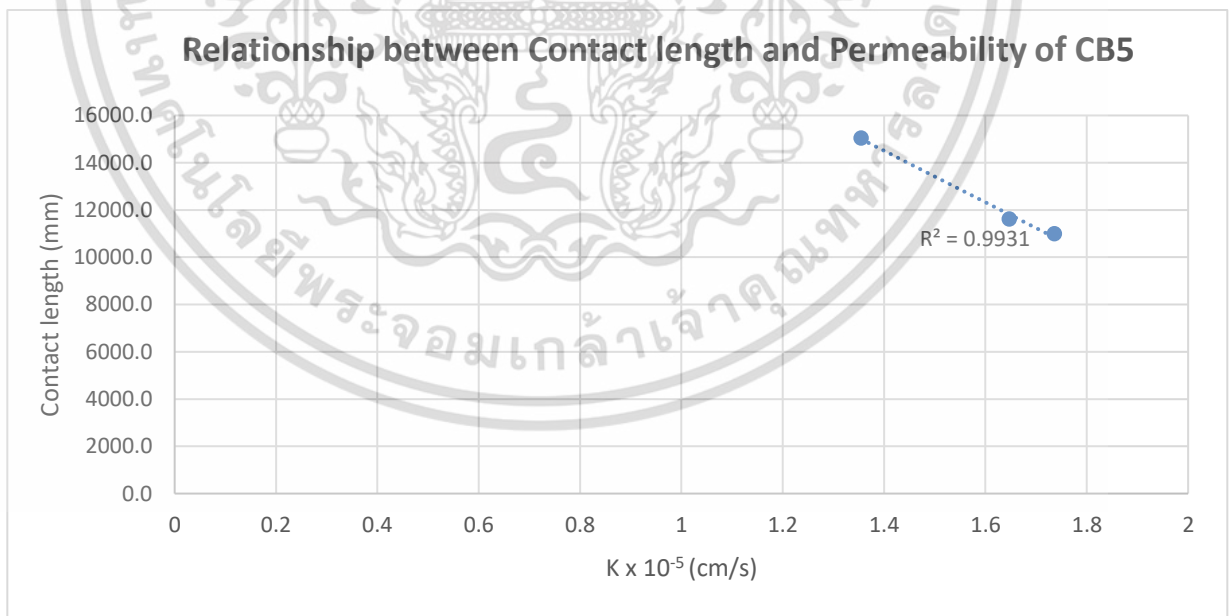
เป็นโปรแกรมสำหรับวิธีการวิเคราะห์ซึ่งแสดงผลภาพสแกนของตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตที่ตัดแล้ว ซึ่งประมวลผลด้วย Digital Image Processing Algorithm Image Processing) เพื่อแปลงภาพสี (RGB (แดง-เขียว-น้ำเงิน)) เป็นภาพไบนารี (ขาวดำ) จากนั้นสามารถคำนวณพารามิเตอร์โครงสร้างภายในแอสฟัลท์คอนกรีต เช่น จำนวนหน้าสัมผัสและการแยกมวลโดยใช้ทดสอบฟิลเตอร์ 3 ชนิด คือ ฝุ่นมะพร้าว, ฝุ่นกากอ้อย และฝุ่นหินปูน และการทำสอบกับน้ำยาระบายตะกอน 3 ชนิด คือ AC60/70 และ CB5 ใน Dense grade และ PMA ใน Open Graded โดยมีปริมาณฟิลเตอร์ควบคุมที่ 20% ในปริมาณแอสฟัลท์ ตารางที่ 4.4.1 แสดงค่าของการทดสอบ IPAS

ตารางที่ 4.4.1 ผลการทดสอบ IPAS2 ชนิด Dense Graded

ชนิดยางมะตอย	AC60/70		CB5		
ชนิดฝุ่น	Total No. of Contact Point	Total Contact Length (mm)	ชนิดฝุ่น	Total No. of Contact Point	Total Contact Length (mm)
มะพร้าว	39746.3	27807.1	มะพร้าว	21084.9	11320.6
กากอ้อย	32462.7	19587.3	กากอ้อย	19856.9	10050.7
หินปูน	34585.5	22752.5	หินปูน	16597.9	7224.9



รูปที่ 4.4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัว Contact length และ ค่าการซึมผ่านของน้ำของ ผุ่นทั้ง3ชนิด โดยชนิดน้ำยางมะตอย 60/70 ที่ได้นำข้อมูลจากโปรแกรมIPAS2

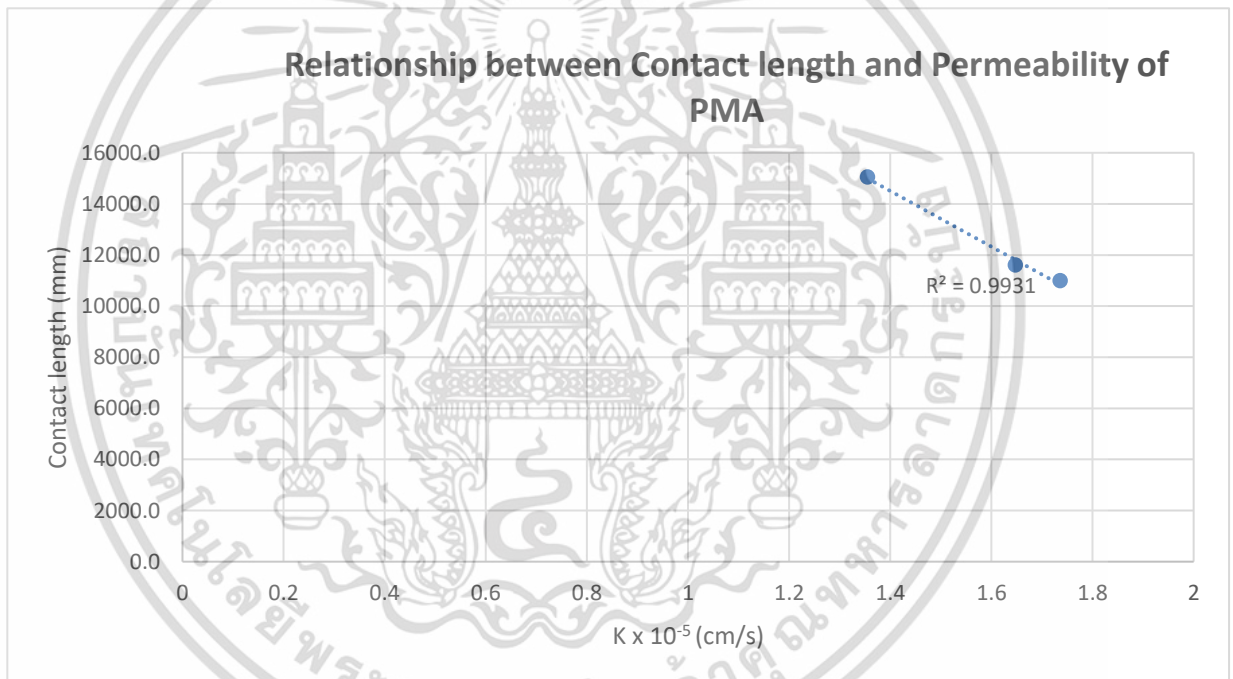


รูปที่ 4.4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัว Contact length และ ค่าการซึมผ่านของน้ำของ ผุ่นทั้ง3ชนิด โดยชนิดน้ำยางมะตอย CB5 ที่ได้นำข้อมูลจากโปรแกรมIPAS2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4.2 ผลการทดสอบ IPAS2 ชนิด Open graded

ชนิดยางมะตอย		PMA	
ชนิดฝุ่น	No. of Contact	Total Contact	
	Point	Length	
มะพร้าว	15045.1	11583.2	
กากอ้อย	10995.6	8471.0	
หินปูน	11610.8	7095.0	



รูปที่ 4.4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัว Contact length และ ค่าการซึมผ่านของน้ำของฝุ่นทั้ง3ชนิด โดยชนิดน้ำยางมะตอย PMA ที่ได้นำข้อมูลจากโปรแกรมIPAS2

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้นำฝุ่นกากอ้อย ขุยมะพร้าว และ หินปูน มาผสมกับมวลรวมชนิดหินปูนที่ปริมาณ 20% โดยปริมาตรของแอสฟัลท์จากนั้นจึงนำไปทดสอบหาแรงดึงด้วยวิธีการทดสอบหาค่าแรงดึงทางอ้อม (Indirect tensile strength test)

- ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้ฝุ่นที่ปริมาณ 20 โดยปริมาตรของแอสฟัลท์ ซึ่งพบว่าการใช้ฝุ่นที่ปริมาณ 20% โดยปริมาตรของแอสฟัลท์ มีค่าเสถียรภาพตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตที่ผ่านข้อกำหนดของมาตรฐานกรมทาง
- ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบและบ่มตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตตามมาตรฐาน AASHTO T283 คือ สภาวะแห้งโดยให้ตัวอย่างอยู่ในสภาวะแห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และสภาวะความชื้นคือ นำตัวอย่างไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปทดสอบด้วยเครื่องมือ Marshall พบว่าการทดสอบทั้งสองสภาวะนั้นวัดค่าแรงดึงได้ถึงขีดความสามารถของเครื่องมือแล้วตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตยังไม่เกิดการวิบัติ
- จากการทดลองที่ใช้มวลรวมประเภทหินปูนและใช้ฝุ่นทั้ง 3 ชนิดที่ปริมาณ 20 โดยปริมาตรของแอสฟัลท์แสดงให้เห็นว่าฝุ่นขุยมะพร้าวนั้นมีประสิทธิภาพช่วยในการป้องกันความเสียหายที่เกิดจากความชื้นที่ใกล้เคียงกับฝุ่นหินปูนในชนิดนางมะตอย AC60/70 แต่ในน้ำยางมะตอยชนิด CB5 แสดงให้เห็นว่าฝุ่นจากขุยมะพร้าวและกากอ้อยนั้นมีประสิทธิภาพช่วยในการป้องกันความเสียหายที่เกิดจากความชื้นที่สูงกว่าและใกล้เคียงกับฝุ่นหินปูน และ ในการออกแบบ Open Graded ชนิดยางมะตอย PMA เมื่อใช้ปริมาณฝุ่นที่ 20% และใช้ร่วมกับมวลรวมที่เป็นหินปูน แสดงให้เห็นว่าฝุ่นจากขุยมะพร้าวนั้นมีประสิทธิภาพช่วยในการป้องกันความเสียหายที่เกิดจากความชื้นที่มากกว่าและใกล้เคียงกับฝุ่นหินปูน

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบในเบื้องต้นของการหาค่าการซึมผ่านด้วยวิธี Florida permeator ซึ่งเป็นการทดสอบในเบื้องต้นผู้วิจัยได้พิจารณาผลการทดสอบหาค่าการซึมผ่านอัตราส่วนแรงดึงด้วยวิธี Indirect tensile strength test เพื่อมาเปรียบเทียบโดยพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ใช้ฝุ่นกากมะพร้าวมีค่าอัตราส่วนแรงดึงที่ใกล้เคียงกับฝุ่นหินปูนในชนิดยางมะตอย AC60/70 และในชนิด CB5 มีค่าอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน

มากของฝุ่นทั้ง 3 ชนิด รวมทั้งชนิดยางมะตอยแบบ Open Graded ชนิด PMA วึ่งมีค่าอัตราส่วนใกล้เคียงกัน เช่นกัน

- ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบในเบื้องต้นของการหาค่าการซึมผ่านด้วยวิธี Florida permeator FM 5-565 โดยเริ่มจากการเตรียมการทดสอบโดยนำยางหุ้มตัวเครื่องและทำการ vacuum อากาศออกเพื่อให้สามารถนำตัวอย่างยางมะตอยเข้าไปได้และนำตัวอย่างใส่ไปจากนั้นทำการปั๊มใส่ pressure เพื่อให้ตัวอย่างบิหรือคลุมตัวก่อนยางมะตอยเพื่อให้ไม่สามารถไหลรอดผ่านทางอื่นได้จากนั้นนำ cylinder ใส่และเทน้ำลงไปปริมาณเส้นที่กำหนดจากนั้นจับเวลาที่น้ำไหลลงจากที่กำหนดจนถึงจุดต่ำสุดที่กำหนดไว้
- ผู้วิจัยได้ใช้น้ำที่ไม่ได้มีการควบคุมอุณหภูมิที่คงที่โดยน้ำเป็น factor หนึ่งที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการซึมผ่านโดยผู้วิจัยได้ทำการวัดอุณหภูมิน้ำโดยใช้เครื่องมือวัด Thermometer ในวันที่ทดลองและทำการทดลองในแต่ละชนิดยางมะตอยในวันเดียวกันโดยอุณหภูมิที่วัดได้คือ 31 องศา และมีค่า coefficient เท่ากับ 0.78
- จากการทดสอบการซึมผ่านของน้ำพบว่าการใช้ฝุ่นกากมะพร้าวในชนิดยางมะตอยทุกชนิดให้ค่าการซึมผ่านที่ต่ำที่สุดในทุกๆการทดสอบในแต่ละชนิดยางมะตอย แต่พบว่าฝุ่นกากอ้อยและฝุ่นหินปูนมีการสลับค่ากับในชนิดยางมะตอยที่ต่างกัน

ผู้วิจัยได้นำโปรแกรม IPAS2 มาวิเคราะห์ผลจากการทดสอบการซึมผ่านน้ำ

- ผู้วิจัยได้ทำการหาความสัมพันธ์โดยการนำค่าการซึมผ่านที่ทดสอบด้วยวิธี Florida permeator และ Total No. of Contact Point หรือระยะการเชื่อมต่อกันของหินโดยโปรแกรม IPAS ของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ฝุ่น 3 ชนิด ปริมาณ 20% โดยใช้มวลรวมประเภทหินปูนและชนิดน้ำยางมะตอย 3 ชนิด มาวาดกราฟ ซึ่งความสัมพันธ์แบบ Dense Graded สามารถแสดงเป็นสมการถดถอยเส้นตรงได้ค่า $R^2 = 0.78$ ในชนิดยางมะตอย AC60/70 และความสัมพันธ์สามารถแสดงเป็นสมการถดถอยเส้นตรงได้ค่า $R^2 = 0.99$ ในชนิดยางมะตอย CB5 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และความสัมพันธ์แบบ Open Graded ของฝุ่นทั้ง 3 ชนิด สามารถแสดงเป็นสมการถดถอยเส้นตรงได้ค่า $R^2 = 0.94$
- ผู้วิจัยได้วาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเชื่อมต่อกันและการซึมผ่านของ Dense Graded ซึ่งได้แสดงเป็นสมการถดถอยเส้นตรงได้ค่า $R^2 = 0.78$ แต่เมื่อนำทั้ง Dense Graded และ Open Graded มารวมกัน ได้ได้ค่าสมการถดถอยเส้นตรงได้ค่า $R^2 = 0.149$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารอ้างอิง

[1]APHA Standard 2540E, 1989. Total Volatile Solids Ignition at 550 C, Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 17th ed. American Public Health Association (APHA), New York

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [2] Ballester, T., Roseen, R., Briggs, J., Puls, T., August 2009. Reduction in Infiltration Capacity of Porous Asphalt and a Survey of Cleaning Methods and Their Effectiveness. StormCon, Anaheim, CA, pp. 8e18.
- [3] Candaele, R., Barrett, M., Charbeneau, R., 2008. Porous Friction Course: A Laboratory Evaluation of Hydraulic Properties. Center for Research in Water Resources Online Report 08-06. University of Texas at Austin.
- [4] Cooley Jr., Allen, 1999. Permeability of Superpave Mixtures: Evaluation of Field Permeameters NCAT Report No. 99-1.
- [5] Dierkes, C., Kuhlmann, L., Kandasamy, J., Angelis, G., 2002. Pollution retention capability and maintenance of permeable pavements. In: 9th International Conference on Urban Drainage, Portland, OR, USA.
- [6] Ferguson, B.K., 2005. Porous Pavements-porous Pavement Hydrology. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida.
- [7] Gogula, A., Hossain, M., Romanoschi, S., Fager, G.A., 2003. Correlation between the laboratory and field permeability values for the superpave pavements. In: Proceedings of the 2003 Mid-continent Transportation Research Symposium, August, Ames, Iowa.
- [8] Kayhanian, M., Vichare, A., Rasa, E., Green, P., Alaimo, C., Hwang, H.-M., Signore, J., Troxler, M.P., Guada, I., Farshidi, F., Harvey, J., 2008. Water Quality and Toxicity Evaluation of Discharge Generated from Asphalt Surfacing Materials. Caltrans Division of Environmental Analysis, Sacramento, CA. Report No. CTSW-RT-08-168-20.3.
- [9] Maupin Jr., G.W., 2000. Asphalt permeability testing in Virginia. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1723, 83e91.
- [10] Montes, F., Haselbach, L., 2006. Measuring hydraulic conductivity in pervious concrete. Environmental Engineering Science 23 (6), 960e969.
- [11] Nielsen, C.B., 2007. Clogging of Porous Pavements e The Cleaning Experiment. Road Directorate, Danish Road Institute. www.roaddirectorate.dk.
- [12] Ongel, A., Harvey, J., Partl, M.N., 2008. Assessment of clogging in open graded asphalt mixes in California. In: International Society for Asphalt Pavements (ISAP) Symposium on Asphalt Pavements and the Environment, August 18e20, Zurich, Switzerland.

- [13]Prowell, B.D., Dudley, M.C., 2002. Evaluation of Measurement Techniques for Asphalt Pavement Density and Permeability. Transportation Research Record 1789 Paper No. 02-3907.
- [14]Schlotzhauer, S.D., Littell, R.C., 1997. SAS System for Elementary Statistical Analysis, second ed. SAS Institute Inc, Cary, NC.
- [15]Siriwardene, N.R., Deletic, A., Fletcher, T.D., 2007. Clogging of stormwater gravel infiltration systems and filters: insights from a laboratory study. Water Research 41 (7), 1433e1440.
- [16]St. John, S.T., Matthias, S., Horner, R.R., 1997. Effect on Road Shoulder Treatments on Highway Runoff Quality and Quantity. WA-RD-4291. Washington State Department of Transportation, Olympia, WA.
- [16]USEPA, 1999. Stormwater Technology Factsheet on Porous Pavement. Office of Water. <http://www.epa.gov/owm/mtb/infltdrn.pdf>.
- [17]Wei, Irvine W, 1986. Installation and Evaluation of Permeable Pavement at Walden Pond State Reservation, 77e12 and 80e22. Northeastern University Department of Civil Engineering.
- [18]Williams, S.G., 2008. Field permeability measurements of coarse-graded asphalt pavements. In: International Society for Asphalt Pavements (ISAP) Symposium on Asphalt Pavements and the Environment, August 18e20, Zurich, Switzerland.
- [19]Yong, C.F., Deletic, A., Fletcher T.D., Grace, M.R., 2008. The clogging behavior and treatment efficiency of a range of porous pavements. In: 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.
- [20] Kroekphon Rachabut and Preeda Chaturabong, 2020. Evaluation of Using Natural Fillers to Improve Moisture Damage Resistance and the Use of Pull-Off Tensile Test in Determining Moisture Damage Resistance in Asphalt Mixture, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
- [21] Imam, U.S. Evaluation of the Effect of Bagasse Ash as Filler in Hot Mix Recycled Asphalt Pavement. Unpublished Thesis, Department of Civil Engineering Ahmadu Bello University, Zaira, Nigeria, 2010.
- [22] Murana, A.A.; Ahmed, A.A.; Jegede, F.T. Suitability of Bagasse Ash as a Filler Material in Hot Mix Asphalt Concrete. In Proceedings of the 5th West Africa Built Environment Research (WABER), Accra, Ghana, 12–14 August 2013.

- [23] Huwae, D.D.M.; Tanijaya, J. The Use of Plastic Mineral Water Bottles and Scrapped Tire Rubber for Improving the Performance of Mixed Asphalt Concrete. In Proceedings of the EASEC 13, Sapporo, Japan, 11–13 September 2013. Paper No. 62.
- [24] Bindu, C.S.; Beena, K.S. Influence of additives on the drain down characteristics of stone matrix asphalt mixtures. *Int. J. Res. Eng. Technol.* 2014, 3, 83–88.
- [25] Sheng, Y.; Zhang, B.; Yan, Y.; Li, H.; Chen, Z.; Chen, H. Laboratory investigation on the use of bamboo fiber in asphalt mixtures for enhanced performance. *Arab. J. Sci. Eng.* 2019, 44, 4629–4638.
- [26] Tamburini, C.; Ziyani, L.; Dony, A.; Rohart, C.; Toraldo, E. Promotion of bitumen-impregnated cellulose fibers from lightweight roofing tiles in stone mastic asphalt. In RILEM252-CMB: RILEM252-CMB-Symposium on Chemo-Mechanical Characterization of Bituminous Materials; Poulidakos, L.D., Falchetto, A.C., Wistuba, M.P., Hofko, B., Porot, L., di Benedetto, H., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2019; Volume 20, pp. 306–3011.

ประวัติผู้เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ-นามสกุล นายนิธินันท์ เหมนิธิ
 วัน เดือน ปีเกิด 10 ตุลาคม 2541 ที่กรุงเทพมหานคร
 ที่อยู่ 10 หมู่บ้านนักกีฬาแหลมทอง ถ.กรุงเทพกรีฑา
 แขวงทับช้าง เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ 10250 โทร.081-423-3695
 ประวัติการศึกษา 2564 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา(อินเตอร์)
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้