

การเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพของพอร์สแอสฟัลต์ด้วยไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตร
THE PERFORMANCE COMPARISON OF PORUS ASPHALT WITH DIFFERENT FIBERS FROM
AGRICULTURAL WASTE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE PERFORMANCE COMPARISON OF PORUS ASPHALT WITH DIFFERENT FIBERS FROM
AGRICULTURAL WASTE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพของพอร์สแอสฟัลต์ด้วยไฟเบอร์จากของเสีย
ทางการเกษตร

THE PERFORMANCE COMPARISON OF PORUS ASPHALT WITH
DIFFERENT FIBERS FROM AGRICULTURAL WASTE

นักศึกษา วงศธร มหาจักษ์ รหัสนักศึกษา 62010786

สุเมธ ปานแปลง รหัสนักศึกษา 62010980

สุรเชษฐ์ ชมภูบุตร รหัสนักศึกษา 62010983

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปรีดา จาตุรพงศ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ปรีดา	จาตุรพงศ์	
ผศ.นัฐพร	นวกิจรังสรรค์	
ผศ.ดร.จำรัส	พิทักษ์ศฤงคาร	
ผศ.ดร.จารุวิสัย	ปราบณศักดิ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(รศ.ดร.ชลิตา อุตะเภา)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 2 มิ.ย. 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพของพอร์สแอสฟัลต์ด้วยไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตร

วงศ์ธร	มหาจักร์	รหัสนักศึกษา 62010786
สุเมธ	ปานแปลง	รหัสนักศึกษา 62010980
สุรเชษฐ์	ชมภูบุตร	รหัสนักศึกษา 62010983

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปริดา จาตุรพงศ์

ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยเส้นใยไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตร และเพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมยางโพลีเมอร์มอดิไฟด์พอร์สแอสฟัลต์ซีเมนต์ (PMA) กับพอร์สแอสฟัลต์ธรรมดา และพอร์สแอสฟัลต์ที่ผสมเส้นใยไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตร โดยใช้สัดส่วนของมวลรวมดังนี้ หินเบอร์ 3/8 , 4 , 8 , 16 , 30 , 50 , 100 , 200 และ Pan น้ำหนักหินแต่ละเบอร์ 309.6 , 619.32 , 111.48 , 41.64 , 32.88 , 19.2 , 9.6 , 5.64 และ 50.64 กรัมตามลำดับ ในส่วนของพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมยางโพลีเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ (PMA) และพอร์สแอสฟัลต์ที่ผสมเส้นใยไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตร ใช้ยาง 4.5% ของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบ และในส่วนของเส้นใยไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตรใช้ 0.25% ของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบ คุณสมบัติของพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีตที่นำมาทดสอบเพื่อใช้วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพคือ ค่าความแข็งแรงและเสถียรภาพจากการทดสอบโดยวิธีมาแชล ค่าการซึมผ่านของน้ำ ค่าการต้านทานการไถลของผิวแอสฟัลต์

จากการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้ ผลจากการทดสอบโดยวิธีมาแชล พอร์สแอสฟัลต์ที่ผสมไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตรทุกชนิดมีความแข็งแรงและเสถียรภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอร์สแอสฟัลต์ธรรมดา และโพลีเมอร์มอดิไฟด์พอร์สแอสฟัลต์มีประสิทธิภาพดีที่สุด ค่าการซึมผ่านของน้ำมีค่าน้อยกว่าทั้งโพลีเมอร์มอดิไฟด์พอร์สแอสฟัลต์และพอร์สแอสฟัลต์ธรรมดา และค่าการต้านทานการไถลมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับโพลีเมอร์ มอดิไฟด์พอร์สแอสฟัลต์และพอร์สแอสฟัลต์ธรรมดา

THE PERFORMANCE COMPARISON OF POROUS ASPHALT WITH DIFFERENT FIBERS FROM AGRICULTURAL WASTE

วงศ์ธร มหาจักษ์ ID 62010786

SUMET PANPLANG ID 62010980

SURACHET CHOMPOOBUT ID 62010983

Advisor: Assoc Prof. Dr. Preeda
Chaturabong

Academic Year
2022

Abstract

The primary objective of this investigation was to enhance the efficacy of porous asphalt concrete using agricultural waste fiber and to evaluate and contrast the properties of porous asphalt concrete with polymer rubber. The study compared the performance of modified porous asphalt cement (PMA) with that of normal porous asphalt and porous asphalt mixed with fiber from agricultural waste. The samples were prepared using varying proportions of stone sizes ranging from No. 3/8 to Pan. Porous asphalt concrete mixed with PMA was supplemented with rubber at 4.5% of the sample weight, while fiber from agricultural waste was added at 0.25% of the sample weight. The analysis focused on several properties, including strength, stability, water permeability, and slip resistance of the asphalt surface, which were examined using the Marshall test. The outcomes of the investigation indicated that the strength and stability of porous asphalt mixed with agricultural waste fiber were higher than those of traditional porous asphalt. In addition, polymer-modified porous asphalt exhibited the best performance. Moreover, the water permeability of the porous asphalt concrete mixed with fiber from agricultural waste and polymer-modified porous asphalt was lower than that of conventional porous asphalt. Finally, the skid resistance value was the highest for ordinary porous asphalt and polymer-modified porous asphalt compared to the porous asphalt mixed with fiber from agricultural waste.

กิตติกรรมประกาศ

การเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพของพอร์สแอสฟัลต์ด้วยไปเบอร์จากของเสียทางการเกษตร สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาของ รศ.ดร.ปรีดา จาตุรพงศ์ ผู้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะและความช่วยเหลือในการทำงานทุกขั้นตอน รวมไปถึงให้ความกรุณาในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของงานวิจัย จนกระทั่งสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาซึ่งกันและกัน รวมไปถึงให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยเล่มนี้ตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ของคณะผู้จัดทำ ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษา รวมทั้งคอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในทุกๆด้าน

วงศ์ธร	มหาจักร์
สุเมธ	ปานแปลง
สุรเชษฐ์	ชมภูบุตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	1
1.4 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตร.....	3
2.2 พอร์สแอสฟัลต์.....	7
2.3 การทดสอบที่ต้องการศึกษา.....	15
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ.....	21
3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ	21
3.2 ขั้นตอนการสร้างตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์.....	22
3.3 ขั้นตอนการทดสอบ.....	25
บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....	29
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของพอร์สแอสฟัลต์ตามมาตรฐาน มทข.237-2563	29
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม.....	30
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	33
5.1 สรุปผลการทดสอบ.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัย	34
5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1.1	กากกล้วยและเส้นใยจากกากกล้วย.....	4
รูปที่ 2.1.2	ไฟเบอร์จากกากมะพร้าว.....	7
รูปที่ 2.2.1	แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัสดุดิบ.....	11
รูปที่ 2.2.2	เส้นกราฟอัตราเร็วในการอบในช่วงอัตราเร็วลดลง.....	14
รูปที่ 2.3.1	เครื่องมือบดอัดตัวอย่าง.....	16
รูปที่ 2.3.2	เครื่องทดสอบวิธี MARSHALL.....	16
รูปที่ 2.3.3	เครื่องมือทดสอบการซึม.....	18
รูปที่ 2.3.4	เครื่องมือทดสอบการต้านทานการลื่นไถล.....	19
รูปที่ 3.1.1	ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ.....	21
รูปที่ 3.1.2	เส้นใยจากกากมะพร้าวหลังอบ.....	22
รูปที่ 3.1.3	การอบแอสฟัลต์.....	22
รูปที่ 3.2.1	การผสมแอสฟัลต์และเพื่อสร้างตัวอย่าง.....	24
รูปที่ 3.2.2	การเตรียมตัวอย่างที่ยังไม่ได้บดอัดเพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะ.....	24
รูปที่ 3.3.1	การติดตั้งอุปกรณ์และตัวอย่างในการทดสอบการซึม.....	26
รูปที่ 3.3.2	แสดงการปรับความดันให้อยู่ที่ 15 MMHG.....	26
รูปที่ 3.3.3	แสดงการจับเวลาการไหลของน้ำใน PERMEABILITY TUBE.....	26
รูปที่ 3.3.4	การตั้งค่าศูนย์บนอุปกรณ์ BPT.....	28
รูปที่ 3.3.5	แสดงการหาระยะสัมผัสบนพื้นผิวของแผ่นยาง.....	28
รูปที่ 3.3.4	แสดงค่าความต้านทานบนอุปกรณ์ BPM.....	28
รูปที่ 4.2.1	แผนภูมิแสดงค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV) ของตัวอย่าง.....	30
รูปที่ 4.2.2	แสดงค่า COEFFICIENT OF PERMEABILITY ของตัวอย่าง.....	31
รูปที่ 4.2.4	แผนภูมิแสดงค่าที่ได้จากการทดสอบมาแชล (MARSHALL'S TEST).....	32

สารบัญตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.2.1 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ใช้	8
ตารางที่ 2.2.2 ข้อกำหนดการออกแบบพอร์สแอสฟัลต์ มาตรฐาน มทข.237-2563.....	9
ตารางที่ 4.1.1 ตารางปริมาณขนาดคละของมวลรวม	29
ตารางที่ 4.1.2 ตารางผลการทดสอบหาค่า AIR VOID ของแต่ละตัวอย่าง	30
ตารางที่ 4.2.1 ตารางผลการทดสอบหาค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV).....	30
ตารางที่ 4.2.2 ตารางผลการทดสอบการซึม.....	31
ตารางที่ 4.2.3 ตารางผลการทดสอบมาแชล (MARSHALL'S TEST)	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นที่นิยมและใช้สร้างถนนอย่างแพร่หลาย แต่ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตก็ยังมีข้อเสียคือเมื่อฝนตกและถนนระบายน้ำไม่ทัน จะทำให้ถนนมีน้ำขัง เกิดฟิล์มน้ำทำให้เกิดการไถลของรถที่สัญจรได้ มีละอองน้ำทำให้วิสัยทัศน์ของผู้ขับรถลดลง จึงมีการพัฒนาและสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์ ที่มีรูพรุนมากและน้ำสามารถซึมผ่านได้ มีเรียกว่าถนนผิวทางพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต ถนนที่ก่อสร้างแบบพอร์สแอสฟัลต์นั้นสามารถระบายน้ำได้ดีเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความพรุนสูง มีปริมาณช่องว่างอากาศใน ส่วนผสมที่มากจึงทำให้การระบายน้ำเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและลดปัญหาน้ำท่วมขังบริเวณผิวทาง เนื่องจากมวลน้ำสามารถซึมแทรกผ่านวัสดุผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ได้อย่างรวดเร็วเป็นผลให้ช่วยเพิ่มสมรรถนะในการขับขี่รถยนต์ รถไม่ลื่นไถลขณะวิ่งด้วยความเร็วหรือเบรกกะทันหัน แต่ต้องแลกมาด้วยมูลค่าในการสร้างที่สูงขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการใช้สารผสมเพิ่มหรือไฟเบอร์จากพืชมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของพอร์สแอสฟัลต์พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในด้านต่างๆ ของพอร์สแอสฟัลต์ได้ เช่น เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแอสฟัลต์กับมวลรวม เพิ่มความแข็งแรง ความต้านทานรอยแตกที่อุณหภูมิต่ำ ประสิทธิภาพการต้านทานรอยขีดข่วน (GITECO reseach group, 2562) ซึ่งไฟเบอร์จากพืชเป็นวัสดุที่ช่วยเพิ่มความเหนียวระหว่างแอสฟัลต์กับมวลรวมได้อย่างชัดเจน ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้นำไฟเบอร์ที่ได้จากของเสียทางการเกษตรมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของพอร์สแอสฟัลต์เป็นการลดต้นทุนในการผลิตพอร์สแอสฟัลต์และยังทำให้ของเสียทางการเกษตรมีการนำมาให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยเส้นใยไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตร

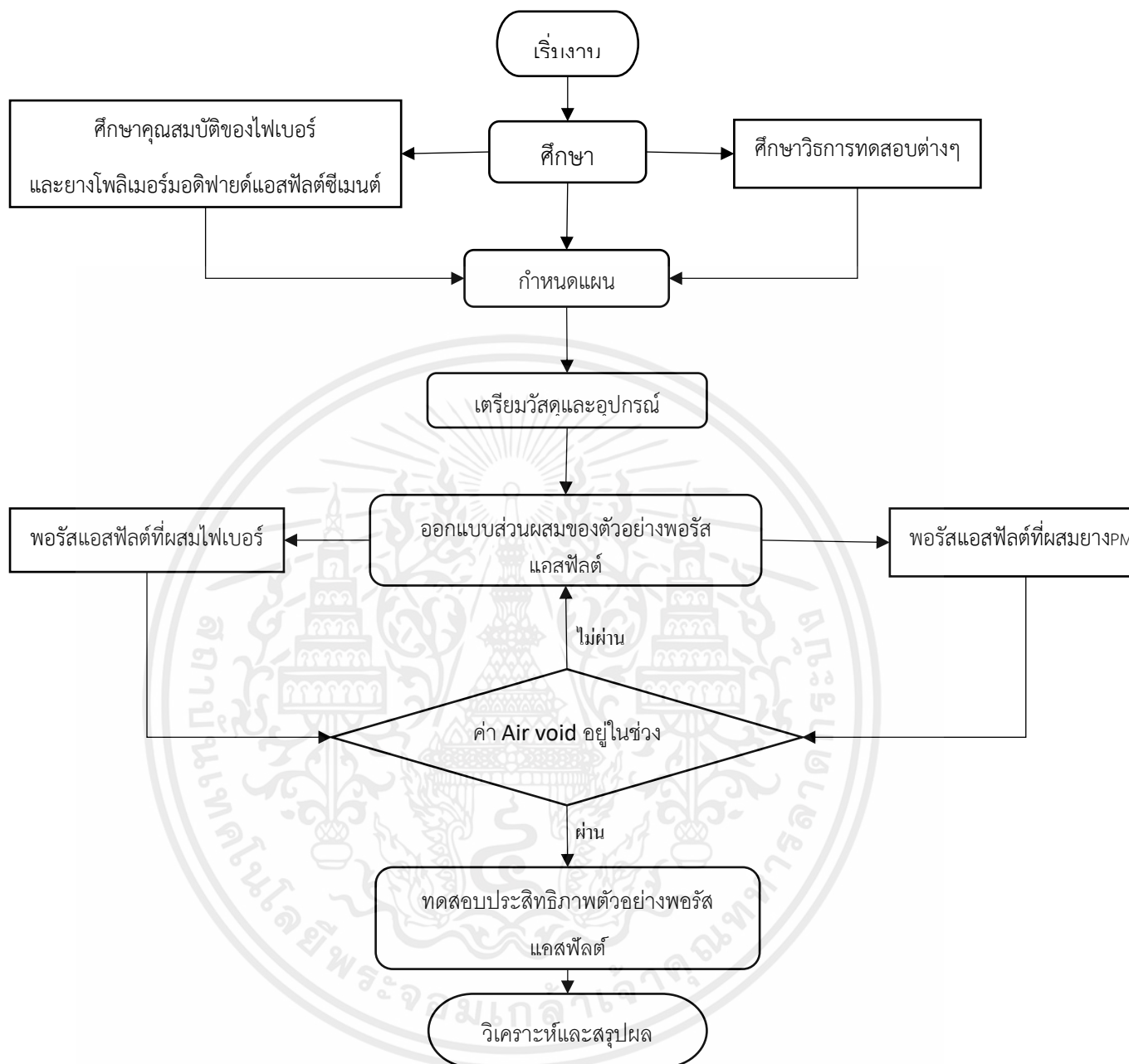
1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมยางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ (PMA) กับพอร์สแอสฟัลต์ที่ผสมยาง AC 60-70 และเส้นใยไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตร

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมเส้นใยไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตรที่ใช้ยาง AC60/70 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมยางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ (PMA) ให้มีค่า Air void อยู่ในค่ามาตรฐานกรมทางหลวงที่

1.3.2 ทดสอบหาประสิทธิภาพของพอร์สแอสฟัลต์ โดยการใช้การทดสอบดังนี้ การทดสอบโดยวิธีมาแซล การทดสอบการต้านทานการลื่นไถลของผิว และการทดสอบการซึมผ่านของน้ำ

1.4 แผนการดำเนินงานวิจัย



1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถลดต้นทุนการสร้างถนนพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต
- 1.5.2 การนำของเสียทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพของพอร์สแอสฟัลต์ด้วยไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตร คณะผู้จัดทำได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 ไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตร
- 2.2 ข้อมูลทั่วไปของพอร์สแอสฟัลต์
- 2.3 การทดสอบที่ต้องการศึกษา
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตร

2.1.1 เซลลูโลส (cellulose)

เซลลูโลส (cellulose) เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ประเภทโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (glucose) มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ที่ตำแหน่งปีต้า-1,4 (b-1,4) เป็นสายยาวมากกว่า 2,000 โมเลกุล

เซลลูโลสเป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช เช่น ผัก ผลไม้ และ เมล็ดธัญพืช โดยอยู่ร่วมกับเฮมิเซลลูโลส และเพกทินเซลลูโลสจัดเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ชนิดที่ไม่ละลายในน้ำ และไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ และสัตว์กระเพาะเดี่ยว

เซลลูโลส จัดเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ชนิดหนึ่งที่มีสมบัติไม่ละลายในน้ำ ทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กรด และเบสที่เจือจาง มนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ที่ย่อยคาร์โบไฮเดรตในร่างกาย เช่น เอนไซม์อะไมเลส (amylase)

เซลลูโลสในเนื้อไม้เมื่อเผาไหม้จะเกิดกลิ่นควัน (smoking flavour) ซึ่งใช้รมควัน (smoking) อาหาร การใช้เซลลูโลส (cellulose) เพื่อเป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive)

2.1.2 กล้วย

ชื่อสามัญ : Banana

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Musa sapientum* Linn.

กล้วย เป็นพืชผลไม้สมุนไพร เป็นไม้ดอกล้มลุก มีลำต้นเดี่ยวตั้งตรง ลำต้นมีลักษณะกลมๆ มีสีน้ำตาลปนเขียว ใบเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว ใบมีลักษณะแบนยาวใหญ่ มีสีเขียวแก่ ดอกจะออกเป็นช่อ จะมีปลีออกที่ปลายยอด มีผลเรียงอยู่ในหีคล้ายพัด ผลอ่อนเปลือกมีสีเขียว ผลสุกเปลือกมีสีเหลือง มีรสชาติหวานหอม

2.1.2.1 ส่วนประกอบของต้นกล้วย

1) ลำต้น มีลำต้นเดี่ยว ตั้งตรง ลำต้นมีลักษณะกลมๆ มีกาบเปลือกหุ้มล้อมรอบ มีผิวสีเรียบ มีสีเขียวปนสีน้ำตาล มีหน่อเหง้างอกโผล่ออกมาจากดิน

2) ราก มีระบบรากแก้ว รากมีลักษณะกลมๆ จะมีรากแขนงฝอยๆ มีสีน้ำตาล

3) ใบ เป็นใบเลี้ยงเดี่ยว เรียกว่าใบตอง ยึดต่อกันมีสีเขียวอ่อน มีก้านใบใหญ่ตรงกลาง มีใบแบนยาวใหญ่ล้อมรอบ ปลายใบปลายมน ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบมัน ด้านบนมีสีเขียวสด ด้านล่างมีสีเขียวเข้มมีนวล

4) ดอก มีดอกเป็นช่อ ห้อยลงมาเป็นเคือ จะมีปลีอกที่ปลายยอด มีใบประดับหุ้มอยู่ มีลักษณะโคนกลมปลายรี มีสีแดงม่วง ช้างในจะมีหวีเรียงซ้อนกันอยู่ และจะดอกเล็กๆ เรียงอยู่ในหีกล้ายพัด และต่อมาจะกลายเป็นผล

5) ผล มีลักษณะกลมทรงรี เรียงอยู่ในหีกล้ายพัด มีผิวสีเรียบ ผลอ่อนเปลือกจะมีสีเขียว ผลสุกแก่เปลือกจะมีสีเหลือง ช้างในจะมีเนื้อสีขาวเหลือง เนื้อนุ่ม จะมีรสชาติหวานหอม

6) เมล็ด จะมีลักษณะกลมเล็กๆ จะอยู่ในเนื้อมีกล้วย มีสีดำ และแข็งมาก บางสายพันธุ์จะไม่มีเมล็ด

2.1.2.2 ลำต้นเทียม , กาบกล้วย หรือกาบกล้วย

ใช้ทำเส้นใยหรือทำเชือกทอผ้า ทำอาหารสัตว์ เช่น อาหารของสุกร และยังเป็นอาหารของคนอีกด้วย เช่น แกงหยวกกล้วย กาบกล้วยก็ใช้เป็นสมุนไพรได้เช่นกัน ส่วนน้ำคั้นจากลำต้นก็ยังสามารถนำมา ทากันผม ร่วงหรือเร่งทำให้ผมขึ้นได้อีกด้วย

2.1.2.3 เส้นใยกล้วย

เส้นใยกล้วยได้จากกาบกล้วยสดซึ่งเป็นพืชที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เส้นใยได้จากการใช้เครื่องมือขูดลอกเส้นใยของกาบกล้วย มีลักษณะเป็นเส้นยาว หนาประมาณ 0.1-0.2 ซม. เป็นเส้นแห้ง มีความเหนียวปานกลางสีน้ำตาลอ่อน เมื่อโดนความชื้นจะอ่อนตัว ต้องนำไปต้กลีเยวผสมกับฝ้ายเพื่อเสริมความแข็งแรงก่อนใช้งานนำไปทอผ้าได้เนื้อผ้าที่โปร่งสบาย ระบายอากาศได้ดี มีความทนทานและย่อยสลายได้ทางชีวภาพอย่างเหลือเชื่อ เส้นใยประกอบด้วยเนื้อเยื่อเซลล์ที่มีผนังหนา เชื่อมประสานกันด้วยวิธีธรรมชาติ โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เส้นใยกล้วยคล้ายกับเส้นใยไม้ไผ่ธรรมชาติ แต่ความสามารถในการปั่นด้าย มีความละเอียด(fineness) และความต้านทานแรงดึงนั้นดีกว่า



รูปที่ 2.1.1 กาบกล้วยและเส้นใยจากกาบกล้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.4 การแยกเส้นใยกล้วย

1) การแยกเส้นใยด้วยมือ เป็นวิธีการแยกเส้นใยกล้วยในประเทศญี่ปุ่นมีหลักฐานมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 13 โดยจะเก็บเกี่ยวเฉพาะยอดของต้นกล้วยและใบกล้วยมาทำการแยกด้วยมือ ขั้นตอนเริ่มจากการลอกเปลือกชั้นนอกออกเป็นแผ่นบางๆ ก่อนจะแยกเส้นใย ทั้งนี้เส้นใยที่ได้จะมีความอ่อนนุ่มมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความแก่อ่อนของวัตถุดิบ จากนั้นนำเปลือกที่ลอก ขูดเอาเส้นใยกล้วยออกมา

2) การแยกเส้นใยด้วยการแช่ฟอก เป็นกระบวนการแช่ฟอกเพื่อแยกเส้นใยกล้วยพบในแถบเอเชียใต้ โดยเฉพาะประเทศเนปาลและอินเดีย โดยกาบกล้วยด้านนอกจะถูกเก็บเกี่ยวจากนั้นจะถูกตัดเป็นชิ้นๆ แล้วทุบให้ฉีก แขน้ำสะอาดและปล่อยให้เน่าสลายตามธรรมชาติจากนั้นจึงทำการขูดเนื้อกาบใบออกจนเหลือแต่เส้นใยแล้วจึงนำเส้นใยที่ได้มาล้างด้วยน้ำสะอาดนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายด้วยมือต่อไป และ

3) การแยกเส้นใยด้วยเครื่องจักร นับเป็นการแยกเส้นใยกล้วยด้วยเครื่องจักร ในประเทศไทยเป็นแบบที่ใช้ deteriorating machine โดยเครื่องแยกเส้นใยกล้วยมีลักษณะเป็นเครื่องจักรขนาดเล็ก ทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้แรงงานคนเป็นผู้ป้อนชิ้นส่วนกาบด้านในของต้นกล้วย เครื่องจักรจะทำงานเป็นสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรก การกลิ้งกาบกล้วยที่ป้อนเข้าตัวเครื่องให้แบนราบเพื่อให้ง่ายต่อการขูดเนื้อกาบใบออกด้วยชุดลูกกลิ้ง จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนที่สองโดยขูดเนื้อกาบกล้วยด้วยใบมีดลักษณะเป็นใบมีดหลายชั้นติดบนวงล้อ กาบกล้วยที่ได้รับการขูดจะเคลื่อนที่ผ่านชุดลำเลียงเพื่อนำไปทำความสะอาด ก็จะได้เส้นใยออกมา

สำหรับเส้นใยกล้วยในประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมการแยกเส้นใยด้วยมือ เพื่อใช้เป็นสิ่งทอมีมาไม่นานนัก มีทั้งการแยกเส้นใยจากกล้วยน้ำว้า กล้วยป่า และกล้วยหอม นิยมการแยกเส้นใยด้วยมือ โดยการลอกผิวของกาบแข็งด้านนอก จากนั้นแยกเส้นใยจากเยื่อกล้วยด้วยมือ วิธีนี้จะได้เส้นใยสีขาวละเอียด ความยาวตามความยาวของเยื่อกล้วยที่นำมาแยกเส้นใย มีขนาดเล็กคล้ายเส้นไหม สวยงาม

2.1.3 มะพร้าว

ชื่อสามัญ : Coconut.

ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า : *Cocos nucifera* L.

มะพร้าว เป็นพืชยืนต้น ใบมีลักษณะเป็นใบประกอบแบบขนนก ผลประกอบด้วยเอพิคาร์ป (epicarp) คือเปลือกนอก ถัดไปข้างในจะเป็นมีโซคาร์ป (mesocarp) หรือเยื่อมะพร้าว ถัดไปข้างในเป็นส่วนเอนโดคาร์ป (endocarp) หรือกะลามะพร้าว ซึ่งจะมีรูสีคล้ำอยู่ 3 รู สำหรับงอก ถัดจากส่วนเอนโดคาร์ปเข้าไปจะเป็นส่วนเอนโดสเปิร์ม หรือที่เรียกว่าเนื้อมะพร้าว ภายในมะพร้าวจะมีน้ำมะพร้าวซึ่งน้ำมะพร้าวเกิดจากเอนโดสเปิร์มของมะพร้าวซึ่งจะมีเอนโดสเปิร์มทั้งของแข็งและของเหลว คือ เอนโดสเปิร์มของแข็งจะเป็นเนื้อมะพร้าว และเอนโดสเปิร์มทั้งของเหลวจะเป็นน้ำมะพร้าว ซึ่งเมื่อมะพร้าวแก่ เอนโดสเปิร์มก็จะดูดเอาน้ำมะพร้าวไปหมดขณะที่มะพร้าวยังอ่อน ชั้นเอนโดสเปิร์ม (เนื้อมะพร้าว) ภายในผลมีลักษณะบางและอ่อนนุ่ม ภายในมีน้ำมะพร้าว ซึ่งในระยะนี้เรามักสอยเอามะพร้าวลงมารับประทานน้ำและเนื้อ เมื่อมะพร้าวแก่ ซึ่งสังเกตได้จากการที่เปลือกนอกเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ชั้นเอนโดสเปิร์มก็จะหนาและแข็งขึ้น จนในที่สุดมะพร้าวก็หล่นลงจากต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 ส่วนประกอบของต้นมะพร้าว

1) ลำต้น มีลำต้นเดียว ไม่แตกแขนง มีรอยแผลจากการหลุดร่วงของใบตลอดลำต้น สามารถคำนวณอายุของต้นมะพร้าวได้จากรอยแผลนี้ คือ ในปีหนึ่งมะพร้าวจะสร้างใบประมาณ 12- 14 ใบ ดังนั้นใน 1 ปี จะมีรอยแผลที่ลำต้น 12 – 14 รอยแผล

2) ใบ เป็นใบประกอบ ออกอยู่ตามส่วนของลำต้น ประกอบด้วยก้านทาง (rachis) มีขนาดใหญ่และยาว และมีใบย่อย (leaflet) บนก้านทางประมาณ 200 – 250 ใบ

3) ดอก ออกเป็นช่อชนิดพานิคิล มีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย อยู่ในช่อเดียวกัน ดอกมีกลีบดอก 6 กลีบ สีครีมหรือสีเหลืองนวล ไม่มีก้านดอกย่อยดอกตัวเมียจะมีกลีบดอกหนาและแข็งกว่ากลีบดอกตัวผู้

4) ผล มะพร้าวเป็นชนิดไฟรัสตรูป (fibrous drupe) เรียกว่า นัท (nut) มีเปลือก 3 ชั้นคือ

4.1) เปลือกชั้นนอก (exocarp) เป็นเส้นใยที่เหนียวและแข็ง เมื่อแก่อาจมีสีเขียว แดง เหลืองหรือน้ำตาล

4.2) เปลือกชั้นกลาง (mesocarp) มีลักษณะเป็นเส้นใย มีความหนาพอประมาณ

4.3) เปลือกชั้นใน (endocarp) มีลักษณะแข็งหรือที่เรียกกันว่า กะลา (shell)

5) เมล็ด (seed of kernel) คือ เนื้อมะพร้าว ภายในเมล็ดเป็นช่อกลางขณะผลอ่อนจะมีน้ำอยู่เต็ม ผลแก่ น้ำมะพร้าวจะแห้งไปบางส่วน

2.1.3.2 เปลือกชั้นกลาง (mesocarp)

มีลักษณะอ่อนนุ่ม มีเส้นใย ส่วนใหญ่มักเป็นเนื้อผลที่เราบริโภคกันอย่างในลูกพีช แต่สำหรับมะพร้าวแล้วเส้นใย

2.1.3.3 เส้นใยมะพร้าว

ใยมะพร้าว เป็นเส้นใยที่ได้จากส่วนที่เป็นเปลือกชั้นในที่อยู่ระหว่างผลและเปลือกชั้นนอก ถือเป็นเส้นใยที่ได้จากเมล็ด (Seed Fiber) สัณฐานชาติของใยมะพร้าวเป็นสีน้ำตาลมีความแข็งแรง ทนต่อความชื้นและ น้ำได้ดี ทนต่อการขัดสีได้ดีมาก นิยมใช้ทำพรมเช็ดเท้า เสื่อ เชือก ถ้าย้อมสีมักย้อมสีเข้มหรือสีดำ เพราะฟอกให้เป็นสีขาวยาก ปัจจุบันใช้ใยมะพร้าวทำที่นอน เก้าอี้ นวมสปริง และเครื่องเรือนอื่น ๆ ในลักษณะเดียวกัน ทำพรมเช็ดเท้า ทำเชือก เป็นต้น

2.1.3.4 การแยกเส้นใยมะพร้าว

1) วิธีการแยกเส้นใยจะใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ 45% ต่อน้ำหนักแห้ง (กาบมะพร้าวอ่อนสดจะได้ กาบใยแห้ง 50%) ต้มด้วยหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงก็จะได้เส้นใยมะพร้าวที่มีความอ่อนนุ่ม จากนั้นล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การแยกเส้นใยด้วยมือ การฉีกเส้นใยที่ติดกันออกเป็นเส้นๆ โดยการใช้มือในการฉีก



รูปที่ 2.1.2 ไฟเบอร์จากกาบมะพร้าว

3) เครื่องมืออุปกรณ์ใช้ในการปั่นเปลือกมะพร้าวแห้งได้ขุยและใยมะพร้าว หรือ ปั่นได้ใยละเอียด เป็นขุยๆ ขุยมะพร้าว มีคุณสมบัติเบา อุ่นน้ำได้ดี และเก็บความชื้นไว้ได้นาน เครื่องปั่นขุยและใยมะพร้าวแห้งเป็นอุปกรณ์ช่วยทุ่นแรงมีประสิทธิภาพทำให้ประหยัดเวลาลดค่าใช้จ่ายทดแทนแรงงานคน

2.2 พอร์สแอสฟัลต์

เป็นผิวทางชนิดพิเศษที่มีคุณสมบัติเฉพาะคือ เป็นวัสดุที่มีความพรุนสูงจึงทำให้การระบายน้ำเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว น้ำไม่ขังขณะและหลังเกิดฝนตกโดยที่น้ำสามารถซึมผ่านลงไปใต้พื้นถนนได้อย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เป็นการเพิ่มสมรรถนะในการขับขี่ยานยนต์ คือรถไม่ลื่นไถลขณะวิ่งด้วยความเร็วหรือเบรกกะทันหัน อีกทั้งยังเป็นการลดละอองน้ำที่กระเซ็นรบกวนยานพาหนะคันหลังที่วิ่งตามมาเป็นการเพิ่มความสามารถในการมองเห็นของผู้ขับขี่ส่งผลให้ลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุกับผู้ใช้งาน จุดเด่นของพอร์สแอสฟัลต์อีกประการ คือ การที่เนื้อวัสดุมีลักษณะพรุนนั้น จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับเสียงที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างยางรถยนต์และผิวทาง ซึ่งสามารถลดมลภาวะทางเสียงที่เกิดขึ้นต่อผู้อยู่อาศัยสองข้างทางอีกด้วย

ชื่อทางเทคนิคของถนนชนิดนี้คือ Open-Graded Friction Course(OGFC) การที่มีปริมาณรูพรุนค่อนข้างมากเกิดจากการใช้วัสดุมวลรวมขนาดใหญ่ในปริมาณมากโดยปกติจะใช้วัสดุที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ไม่เกิน 20% ทั้งนี้การผลิตพอร์สแอสฟัลต์ มีขั้นตอนไม่แตกต่างจากการผลิตแอสฟัลต์ทั่วไป ความแตกต่างที่สำคัญอย่างเดี๋ยวนั้นคือ การคัดขนาดมวลรวม(Gradation) อย่างไรก็ตามการใช้พอร์สแอสฟัลต์มีปัญหาอยู่หลายประการ ได้แก่ การลอก(Stripping) ภายใต้อิทธิพลของพอร์สแอสฟัลต์จากสาเหตุหลายกรณี เช่น ปริมาณน้ำจำนวนมากซึ่งอยู่ส่วนล่างของผิวทางพอร์สแอสฟัลต์เป็นเวลานานปัญหาอีกอย่างคือ การอุดตันของรูพรุนของผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ทำให้การระบายน้ำไม่ดีเท่าที่ควรจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาและขจัดสิ่งอุดตันในรูพรุน

มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นชั้นผิวทาง โดยการปูหรือเกลี่ยแต่งและบดทับบนชั้นรองผิวทาง(Binder Course) หรือชั้นผิวทางเดิมซึ่งน้ำซึมผ่านไม่ได้ ระดับความลาดและได้ทำการ Tack Coat ก่อนเสมอ

2.2.1 วัสดุ

วัสดุที่จะนำมาใช้ทำพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีตประกอบไปด้วย มวลรวมและโพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.มวลรวม – มวลรวมประกอบด้วยมวลหยาบ(Coarse Aggregate) และมวลละเอียด(Fine Aggregate) กรณีที่มวลละเอียดมีส่วนละเอียดไม่พอ หรือต้องการปรับปรุงคุณภาพและความแข็งแรงของพอร์สแอสฟัลท์คอนกรีต อาจเพิ่มวัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) ด้วยได้ ขนาดคละ(Gradation) ของมวลรวมให้เป็นไปตามดังนี้

ขนาดตะแกรง		ปริมาณผ่านตะแกรงร้อยละโดยมวล
มิลลิเมตร	นิ้ว	
19.0	¾	100
12.5	½	70 – 100
9.5	3/8	50 – 80
4.75	เบอร์ 4	15 – 30
2.36	เบอร์ 8	10 – 22
0.600	เบอร์ 30	6 – 13
0.075	เบอร์ 200	3 – 6
ปริมาณโพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ซีเมนต์ร้อยละโดยมวลของมวลรวม		4.0 – 6.0
ความหนา (มิลลิเมตร)		35 - 50

ตารางที่ 2.2.1 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณโพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ใช้กรมทางหลวงอาจใช้ขนาดคละของมวลรวม และปริมาณโพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ซีเมนต์แตกต่างจากตารางที่ 1 ได้ แต่คุณภาพของพอร์สแอสฟัลท์คอนกรีตต้องเป็นไปตามข้อกำหนดตามตารางที่ 2

2.2.2 แอสฟัลท์

1.) แอสฟัลท์ที่ใช้สำหรับพอร์สแอสฟัลท์คอนกรีต

ในกรณีที่มิได้ระบุชนิดของแอสฟัลท์ไว้เป็นอย่างอื่น ให้ใช้โพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ซีเมนต์ตามข้อกำหนดที่ ทล.-ก.407/2536 ปริมาณการใช้โพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ซีเมนต์สำหรับพอร์สแอสฟัลท์คอนกรีตโดยประมาณ ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

2.) แอสฟัลท์ที่ใช้สำหรับ Tack Coat

ในกรณีที่มิได้ระบุชนิดของแอสฟัลท์ไว้เป็นอย่างอื่น ให้ใช้โพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์อิมัลชัน CRS – 2 ตามข้อกำหนดที่ ทล.-ก.406/2536 ปริมาณการใช้โพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์อิมัลชัน CRS-2 สำหรับ Tack Coat ให้ใช้ประมาณ 0.4 – 0.8 ลิตรต่อตารางเมตร

การใช้แอสฟัลท์อื่นๆหรือแอสฟัลท์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารใดๆนอกเหนือจากนี้ ต้องมีคุณภาพเทียบเท่าหรือดีกว่า ทั้งนี้ต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพและพิจารณาความเหมาะสม รวมทั้งต้องได้รับอนุมัติให้ใช้ได้จากกรมทางหลวงเป็นกรณีไป

2.2.3 การใช้งาน

พอร์สแอสฟัลท์คอนกรีตตามมาตรฐานนี้ใช้สำหรับเป็นชั้นทาง มีลักษณะผิวหน้าหยาบ มีรูพรุนสูง น้ำซึมผ่านได้ดี เพิ่มค่าความฝืดของผิวทาง ไม่เกิดแผ่นฟิล์มของน้ำ(Hydroplaning) และลดระดับเสียงขณะรถวิ่งผ่าน ทำการก่อสร้างโดยการปูและบดทับบนชั้นรองพื้นทาง(Binder Course) หรือชั้นผิวทางเดิม ซึ่งน้ำซึมผ่านไม่ได้ที่ได้ระดับความลาดและได้ทำการ Tack Coat ก่อนเสมอ

2.2.4 การออกแบบส่วนผสมพอร์สแอสฟัลท์คอนกรีต

ข้อกำหนดในการออกแบบพอร์สแอสฟัลท์คอนกรีตตามมาตรฐาน มทข.237-2563ให้เป็นไปตามตารางที่ 3 ดังนี้

คุณภาพ	ข้อกำหนด
1. Cantabro Abrasion Test Dry Sample Abrasion Loss (%) Soaked Sample Abrasion Loss (%)	Max. 20 Max. 40
2. Air Voids 2.1 Air Voids in the Mix (%) 2.2 Connected Air Voids (%)	20± 2 Min. 13
3. Stability & Flow 3.1 Stability (lbs.) 3.2 Flow (1/100")	Min. 800 8 – 16
4. Asphalt Draindown test Asphalt Draindown (% by weight of mixture)	Max. 0.3
5. Strength Index (%)	Min. 80
6. Indirect Tensile Strength Index (%)	Min. 80

ตารางที่ 2.2.2 ข้อกำหนดการออกแบบพอร์สแอสฟัลต์ มาตรฐาน มทข.237-2563
คุณสมบัติของผิวทางแบบ Porous Asphalt ที่สำคัญ

การซึมผ่านได้ของน้ำ (Permeability)

การซึมผ่านได้ของน้ำเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างมากสำหรับผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลท์ เนื่องจากวัสดุมีความพรุนสูงจึงทำให้การระบายน้ำเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว น้ำไม่ขังขณะและหลังฝนตก โดยที่น้ำสามารถซึมผ่านลงไปได้ที่พื้นถนนได้อย่างรวดเร็ว

ความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance)

เมื่อน้ำซึมผ่านได้ดี เป็นผลให้เป็นการเพิ่มสมรรถนะในการขับขี่รถยนต์ คือ รถไม่ลื่นไถลขณะวิ่งด้วยความเร็วหรือเบรกกระทันหัน อีกทั้งยังเป็นการลดละอองน้ำที่กระเซ็นรบกวนยานพาหนะคันหลังที่วิ่งตามมา เป็นการเพิ่มความสามารถในการมองเห็นของผู้ขับขี่ ส่งผลให้ลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุกับผู้ใช้งาน

การลดสภาวะทางเสียง (Noise Reduction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่เนื้อวัสดุมีลักษณะพรุนนั้น จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับเสียงที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างยางรถยนต์และผิวทาง ซึ่งสามารถลดมลภาวะทางเสียงที่เกิดขึ้นต่อผู้อยู่อาศัยสองข้างทางอีกด้วย

2.2.4 หินคลุก

หินคลุก เป็นหินปูนที่ย่อยจนมี เกรตเดชั่น ที่เรียกว่า well grade โดยเป็นหินที่มีขนาดแตกต่างกันมาปนกัน เป็นหินที่คละขนาดหินขนาดเล็กปนกับดิน ที่ผ่านการคัดแยกจากหินใหญ่ที่ผ่านปากม่ก่อนลงอุโมงค์ เพื่อโมโนตอนที่ 2 ไม่สามารถนำไปเป็นหินก่อสร้าง หรือนำไปบดเป็นปูนซีเมนต์ได้ เพราะไม่ได้ขนาดหรือแร่ธาตุตามที่ต้องการ

โดยส่วนมากใช้สำหรับเป็น ชั้นพื้นทางในงานถนน ใช้แทนดินลูกรัง หรืองานก่อสร้างทั่วไป สามารถใช้ผสมร่วมกับหินลูกรังได้ หรือนำไปทำอิฐบล็อก มีสองเกรด ได้แก่ หินคลุกเกรดธรรมดา ราคาจะไม่แพงเกินไป และหินคลุกเกรดพิเศษ ราคาจะสูงกว่าแบบธรรมดาเล็กน้อย เพื่อให้เหมาะสมตรงกับการใช้งานของลูกค้ามากที่สุดครับ

2.2.5 การอบแห้ง

การอบแห้ง (Drying) คือ การเอาน้ำออกจากวัสดุที่ต้องการทำให้ปริมาณน้ำในวัสดุนั้นลดลง (ความชื้นลดลง) โดยส่วนใหญ่วัสดุนั้นจะอยู่ในสถานะของแข็ง น้ำที่ระเหยออกจากวัสดุนั้นอาจจะต้องระเหยที่จุดเดือดแต่ใช้อากาศพัดผ่านวัสดุนั้นเพื่อดึงน้ำออกมา วัสดุจะแห้งได้มาก-น้อยจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของมันด้วย ในการอบ เมื่อทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยเป็นไอ จะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำลง ซึ่งนอกจากจะมีกรณีที่วัตถุดิบมีสภาพเป็นของแข็งที่เปียกชื้นแล้ว ยังมีกรณีที่อบของเหลวข้น (slurry) หรือของเหลวใสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงอีกด้วย

เครื่องอบโดยมากมักจะเป็นส่วนสุดท้ายของกระบวนการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่อบแล้วจะกลายเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จทันที ดังนั้น การอบไม่สม่ำเสมอ เช่น ไม่แห้งหรือแห้งเกินไป และรูปร่างของผลิตภัณฑ์ เช่น วัตถุดิบเป็นก้อน รวมทั้งปริมาณผลได้ (yield) จึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสนใจ นอกจากนี้ความร้อนแฝงของการระเหยของของเหลวจะมีค่าสูง การอบจึงสิ้นเปลืองพลังงานมาก การจัดการพลังงานความร้อนจึงเป็นปัญหาที่สำคัญ

2.2.6 อัตราความชื้น

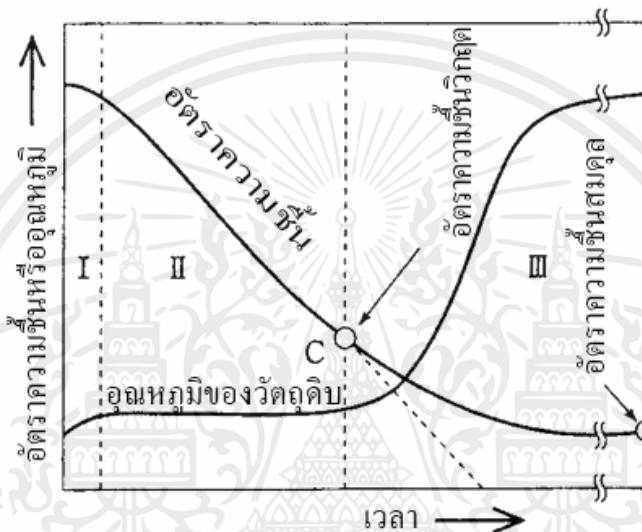
ในการแสดงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบ จะสามารถแสดงได้ด้วยปริมาณน้ำต่อปริมาณมวลรวมเปียก (ค่า wet base) หรือปริมาณน้ำต่อปริมาณวัตถุดิบแห้ง (ค่า dry base) ในขณะที่อบมวลรวมจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่อกำหนดความชื้นแบบ wet basis จะทำให้ค่าความชื้นเปลี่ยนแปลงอย่างไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นในการคำนวณทางอุตสาหกรรม จะใช้ค่าความชื้น ที่คำนวณแบบ dry basis ซึ่งมวลแห้งเป็นฐานในการคำนวณ เนื่องจากมวลแห้งนี้มีค่าคงที่ตลอดการอบ จึงมีความสะดวกมากกว่า ถ้าให้ความชื้นที่ wet basis เท่ากับ w_w และให้ความชื้นที่ dry basis เท่ากับ w_d แล้ว ค่าทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันดังต่อไปนี้

$$\omega_w = [\text{kg-น้ำ/kg-วัตถุดิบเปียก}]$$

$$\omega_d = [\text{kg-น้ำ/kg-วัตถุดิบแห้ง}]$$

1.) อัตราเร็วในการอบกับเส้นกราฟแสดงสมบัติการอบ

เมื่อนำวัตถุดิบที่จะอบซึ่งเปียกชื้นอย่างเพียงพอถึงผิวหน้ามาแขวนไว้ในกระแสลมร้อน แล้วติดตามตรวจวัดอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบนั้น โดยทั่วไปจะได้ผลลัพธ์ดังรูป 1 ซึ่งกลไกการอบสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะเวลาที่มีลักษณะแตกต่างกัน กล่าวคือ (I) ช่วงอุ่นวัตถุดิบ (II) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ (III) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง



รูปที่ 2.2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบ

(I) ช่วงอุ่นวัตถุดิบ

ช่วง I เป็นช่วงที่อุณหภูมิของวัตถุดิบจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิตั้งต้น (อุณหภูมิห้อง) จนถึงอุณหภูมิสมดุลที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการอบ เรียกว่า ช่วงอุ่นวัตถุดิบ ในกรณีที่วัตถุดิบได้รับความร้อนด้วยการพาความร้อนโดยลมร้อน อุณหภูมิสมดุลนี้จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมร้อนนั้น

(II) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่

ในช่วง II วัตถุดิบจะมีอุณหภูมิกว่า ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับจะถูกใช้ไปในการระเหยความชื้นเท่านั้น ชั้นของการระเหยจะเกิดที่ผิวหน้าของวัตถุดิบโดยอัตราเร็วในการอบจะมีค่าคงที่ ช่วงนี้เรียกว่า ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งจะดำเนินไปตราบเท่าที่มีความชื้นอิสระให้ระเหยอยู่ที่ผิวหน้าของวัตถุดิบ โดยอัตราความชื้นของวัตถุดิบจะลดลงด้วยอัตราเร็วคงที่

(III) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง

เมื่ออบไปเรื่อยๆ จนปริมาณความชื้นที่ผิวหน้าวัตถุดิบแห้งลง และความชื้นภายในเนื้อวัตถุดิบเริ่มลดลง ความชื้นอิสระภายในตัววัตถุดิบจะซึมขึ้นมาทดแทน ให้ทันกับอัตราเร็วในการระเหยที่ผิวหน้า จึงเริ่มเข้า

สู่ช่วงที่ III ได้แก่ ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง ชั้นของการระเหยจะค่อยๆ เลื่อนลงลึกเข้าไปในเนื้อวัสดุ อุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มเข้าใกล้อุณหภูมิของลมร้อนจากบริเวณพื้นผิว ในการอบความร้อนจะต้องเข้าไปถึงภายในเนื้อวัสดุ นอกจากนี้อุณหภูมิส่วนหนึ่งยังต้องใช้ไปในการให้ความร้อนตัววัสดุเองอีกด้วย อัตราเร็วในการอบจึงค่อยๆ ลดลงตามเวลาที่ผ่านไปความสามารถในการดูดซับความชื้นของวัสดุขึ้น กับกลไกการเคลื่อนที่ สภาพของความชื้นที่มีอยู่ภายในวัสดุขึ้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อกลไกการเคลื่อนที่ของความชื้น ในวัสดุเปียกนอกจากจะมีความชื้นในรูปน้ำอิสระแล้ว ยังมีน้ำ adsorption water ที่เกาะติดกับพื้นผิวของแข็ง ความชื้น bonding water และไอน้ำในช่องว่างอีกด้วย

ตารางที่ 1 จะแบ่งความชื้นในวัสดุออกตามสภาพของความชื้น โดยอธิบายความสามารถในการอุ้มน้ำภายในวัสดุ กลไกการเคลื่อนที่ของความชื้น และความดันไอของน้ำของวัสดุต่างๆ ต่อไปนี้โดยละเอียด

		ประเภทของน้ำที่มีอยู่	การอุ้มน้ำ	กลไกการเคลื่อนที่ของความชื้น	ความดันไอ p	ตัวอย่างวัสดุ		
วัสดุเปียก	เนื้อผสม	non-hydrophilic	น้ำเกาะติดผิวหน้า	แรงตึงผิว	การแพร่ของไอน้ำ	$p = p_w^{*1}$	พื้นผิวอนุภาคหยาบ	
			capillary water	funicular water	capillary suction force	การเคลื่อนที่ในสถานะของเหลว	$p = p_w^{*2}$	ชั้นอนุภาคอิฐของแข็งมีรูพรุน
				suspended water	แรงตึงผิว	การแพร่ของไอน้ำ	$p = p_w^{*2}$	
		osmotic water (ในสภาพแขวนลอย)	osmotic suction force	การเคลื่อนที่ในสถานะของเหลว	$p = p_w$	ชั้นอนุภาคละเอียด slag ดินเหนียวที่ชื้นมากๆ		
	hydrophilic ³	adsorption water	adsorption power	การแพร่ของไอน้ำ	$p < p_w$	activated alumina		
		bonding water	affinity ระหว่างพื้นผิวของอนุภาคกับน้ำ	การเคลื่อนที่ในสถานะของเหลว	$p < p_w$	ดินเหนียว (ใกล้จะแห้ง)		
			การแพร่ของไอน้ำ					
เนื้อดีด	bonding water (ที่ผ่านสภาพเป็นเจลแล้ว)	affinity ระหว่างโมเลกุลกับน้ำ	การแพร่ของความชื้น	$p < p_w$	สารละลายไฮโพลีเมอร์			
	การละลาย		การแพร่ของความชื้น	$p < p_w$	สารละลายในน้ำของสารอินทรีย์ สารละลายในน้ำของเกลือต่างๆ			
วัสดุแห้งแข็ง	น้ำแข็ง		การแพร่ของไอน้ำ (การไหลของไอน้ำ)	$p = p_{ice}^{*4}$				

*1 p_w : ความดันไออิ่มตัวของน้ำอิสระ

*2 ในหลอด capillary ที่มีขนาดเล็กมากๆ (รัศมี $r < 10^{-3} \text{ m} = 100 \text{ \AA}$) แล้ว $p < p_w$

*3 ในช่วงที่มีความชื้นสูงโดยมากจะแสดงพฤติกรรมเหมือนกับความชื้น (น้ำอิสระ) ในวัสดุ non-hydrophilic

*4 p_{ice} : ความดันไออิ่มตัวของน้ำแข็ง

(1) วัสดุ non-hydrophilic

หมายถึงกรณีที่พื้นผิวที่เป็นองค์ประกอบของของแข็งไม่สามารถดูดความชื้น หรือดูดความชื้นได้น้อยมาก จนปริมาณความชื้นสูงสุด (ปริมาณน้ำ) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลสัมบูรณ์ของของแข็ง น้ำที่เกาะอยู่บนผิวของวัสดุเหล่านี้จะมีลักษณะดังนี้ ถ้าวัสดุนั้นมีลักษณะ

ของแข็งตันผิวมัน : น้ำจะอยู่ในสภาพน้ำเกาะผิวหน้าที่ทำให้พื้นผิวอนุภาคเปียก

ของแข็งผิวหยาบ : ภายในของแข็งที่มีรูพรุน เช่น อิฐ จะเสมือนมีหลอด capillary ขนาดต่างๆ เป็นจำนวนมากด้วยแรง capillary suction force ที่เกิดจากแรงตึงผิวของน้ำ จะดึงดูน้ำไว้ในสภาพ capillary water เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบดำเนินไป น้ำ capillary water นี้จะเคลื่อนที่ไปในสถานะของเหลว เหลือแต่น้ำ suspended water ในช่องว่าง น้ำที่เหลือนี้ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปในสถานะของเหลวได้ โดยทั่วไปจะระเหยเป็นไอไปในระหว่างการอบ ด้วยอัตราเร็วลดลง ณ ตำแหน่งเดิม แล้วไอน้ำจะแพร่ไปในรูเล็ก ๆ ออกไปที่พื้นผิว

ของแข็งผิวละเอียด : กรณีที่มีอนุภาคคอลลอยด์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน $1 \mu\text{m}$ แขนงลอยอยู่ในน้ำ ระหว่างอนุภาคจะมีแรงผลักทางไฟฟ้าซึ่งเกิดจากประจุขั้วเดียวกันบนพื้นผิวอนุภาค ซึ่งจะทำให้พยายามให้อนุภาคอยู่ห่างจากกันและดูดน้ำเข้ามา แรงดึงดูดนี้เรียกว่า osmotic suction force

(2) วัสดุ hydrophilic

หมายถึงวัสดุที่พื้นผิวของแข็งที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุมีสมบัติดูดความชื้น หรือวัสดุที่ตัวของแข็งเองมีสมบัติ adsorption กับน้ำ โดยน้ำที่เกาะอยู่บนผิวของวัสดุเหล่านี้จะมีลักษณะดังนี้

ของแข็งมีรูพรุน : น้ำที่มีอยู่ในช่องว่างในวัสดุในช่วงความชื้นสูงจะเป็นน้ำอิสระ ซึ่งมีพฤติกรรมเหมือนกับกรณีของวัสดุ non-hydrophilic เมื่ออัตราการความชื้นลดลง น้ำอิสระนี้จะหายไปก่อน หลังจากนั้นจะเกิดการเคลื่อนที่และระเหยของน้ำ bonding water (น้ำ adsorption water และ absorption water) ความดันไอของน้ำนั้นจะขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิและอัตราการความชื้น

วัสดุที่มีลักษณะเป็น cytoplasm : กรณีที่เซลล์หนึ่งๆ อิมมัวอยู่ด้วยน้ำอย่างเพียงพอ ทั้ง cytoplasm และช่องว่างภายในเซลล์จะอิมมัวไปด้วยน้ำ เมื่ออัตราการความชื้นลดลง น้ำในช่องว่างภายในเซลล์จะหายไปก่อน หลังจากนั้นน้ำใน cytoplasm ซึ่งจะเริ่มหายไป และ cytoplasm จะเกิดการหดตัว

(3) วัสดุเนื้อเดียว (homogeneous)

โมเลกุลน้ำในวัสดุเนื้อเดียว เช่น สารละลายไฮโพลีเมอร์ สบู่ ฯลฯ โดยทั่วไปจะละลาย หรือเกิด affinity กับองค์ประกอบของแข็ง ขณะที่น้ำมีความเข้มข้นสูง จะมีความดันไอเกือบเท่ากับน้ำอิสระ แต่เมื่อน้ำมีความเข้มข้นลดลง ความดันไอจะลดลงอย่างรวดเร็ว และปริมาตรของวัสดุจะหดตัวจนมีค่าเท่ากับปริมาตรเมื่อไม่มีน้ำ

2.) อัตราเร็วในการอบ (drying rate)

2.1) อัตราเร็วในการอบคงที่

ในช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ ปริมาณความร้อนที่ได้รับทั้งหมดจะถูกใช้ไปในการระเหยความชื้น เกิดเป็นสภาพสมดุลจลน์ขึ้น โดยวัสดุจะมีอุณหภูมิคงที่ที่ T_m และอัตราเร็วในการอบจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขภายนอกเป็นส่วนใหญ่ คืออุณหภูมิ T และความชื้น H ของลมร้อน อัตราเร็วในการอบคงที่ R_A จะสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$R_A = -\frac{W}{A} \frac{d\omega}{d\theta} = k_H (H_m - H) \cong \frac{\alpha}{\lambda} (T - T_m)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

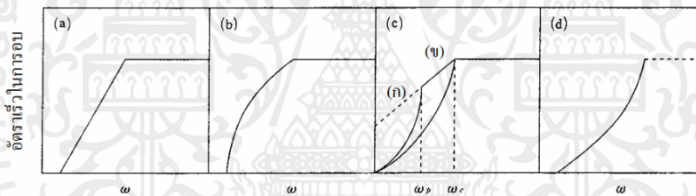
ในที่นี้สัญลักษณ์ θ แทนเวลา [s] สัญลักษณ์ α แทนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน [W/(m²·K)] สัญลักษณ์ kH แทน mass transfer coefficient [kg/(s·m²·(kg-น้ำ/kg-อากาศแห้ง))] สัญลักษณ์ λ แทนความร้อนแฝงของการระเหย [J/kg-น้ำ] กรณีที่ได้รับความร้อนจากลมร้อนเท่านั้น T_m จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก T_w ของลมร้อน

$$R_A = \frac{\alpha (T - T_w)}{\lambda}$$

อัตราเร็วในการอบจะคำนวณได้จากสูตรข้างต้น ในที่นี้ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ λ [J/kg-น้ำ] จะใช้ค่าที่อุณหภูมิ T_w (อุณหภูมิกระเปาะเปียก)

2.2) อัตราเร็วในการอบด้วยอัตราเร็วลดลง

อัตราเร็วในการอบวัตถุของแข็ง จะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัตถุดิบและเงื่อนไขการอบ แต่รูปร่างของเส้นกราฟคุณลักษณะการอบในช่วงอัตราเร็วลดลงนี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขภายใน ได้แก่ ลักษณะของวัตถุดิบ สมบัติของความชื้นภายในวัตถุที่มีอยู่ ฯลฯ มากกว่าเงื่อนไขการอบภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วของลมร้อน ฯลฯ เมื่อทำการวัดเส้นกราฟอัตราเร็วในช่วงอัตราเร็วลดลงของวัสดุต่างๆ จะแบ่งได้เป็น 4 ประเภทดังรูป 2



รูปที่ 2.2.2 เส้นกราฟอัตราเร็วในการอบในช่วงอัตราเร็วลดลง

ในจำนวนประเภทต่างๆ ข้างต้น รูป (a) จะพบได้ในกรณีที่อนุภาคของวัตถุดิบมีน้ำอยู่ในรูปที่ค่อนข้างเป็นอิสระ กล่าวคือ การอบหดยืดของเหลว เยื่อบาง อนุภาคขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 5 mm เป็นต้น รูป (b) พบได้ในอนุภาคขนาดจิวที่มีสมบัติ non-hydrophilic หรือวัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นใยสั้นๆ เป็นต้น ทั้งรูป (a) และ (b) เป็นวัสดุที่น้ำจะเคลื่อนที่สู่ผิวหน้าด้วยแรง capillary ช่วงอัตราเร็วลดลงขั้นที่ 1 รูป (d) โดยมากจะพบในการอบสารเนื้อเดียว เช่น สบู่ กาว เจลาติน ฯลฯ ซึ่งไม่มีช่วงอบด้วยอัตราคงที่ โดยอัตราความชื้นที่ผิวจะลดลงอย่างรวดเร็วจนเท่ากับอัตราความชื้นสมดุลกับลมร้อน หลังจากนั้น การแพร่ของน้ำภายในวัตถุดิบจะมีอิทธิพลเด่นชัดที่สุด การอบรูป (c) วัตถุดิบมีสมบัติระหว่าง (a), (b) กับ (d) โดยช่วงอัตราการอบแห้งลดลง จะมี 2 ช่วง คือหลังจากเกิดช่วงอัตราเร็วลดลงขั้นที่ 1 แล้วจะเข้าสู่ช่วงอัตราเร็วลดลงขั้นที่ 2 โดยกรณี (ก) จะพบในวัสดุที่มี osmotic water เช่น ดินเหนียว และกรณี (ข) เป็นรูปที่ทั่วไปที่สุด พบได้ในวัสดุหล่อ ชั้นตะกอน เป็นต้น

ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการอบโดยคร่าวๆ สำหรับรูป (a), (b) จะแปรผันตามความหนาของวัสดุ ขณะที่รูป (d) จะแปรผันตามความหนาของวัตถุดิบกำลังสอง ส่วนรูป (c) จะอยู่ระหว่างทั้งสองแบบข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การทดสอบที่ต้องการศึกษา

ในการทดสอบคุณภาพของมอดิไฟด์พอร์สแอสฟัลต์แบ่งเป็น 2 ส่วนการทดสอบได้แก่ การทดสอบคุณภาพให้ได้ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง มาตรฐานที่ ทล.-ม. 414/2542 และการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งาน

2.3.1 การทดสอบคุณภาพของมอดิไฟด์พอร์สแอสฟัลต์ตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 414/2542

1) การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศ (Air Voids Test)

ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง มาตรฐานที่ ทล.-ม. 414/2542 กำหนดเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศขั้นต่ำสำหรับมอดิไฟด์พอร์สแอสฟัลต์ไว้ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการหาค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศสามารถหาได้จากค่าความถ่วงจำเพาะของพอร์สแอสฟัลต์แบบบดอัดแล้ว (Bulk Specific Gravity, G_{mb}) และค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดของพอร์สแอสฟัลต์ (Theoretical Maximum Specific Gravity, G_{mm})

1.1) ค่าความถ่วงจำเพาะของพอร์สแอสฟัลต์บดอัด (Bulk Specific Gravity, G_{mb}) คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของพอร์สแอสฟัลต์ตัวอย่างที่ทำการผสมกับมวลรวมและทำการบดอัดเรียบร้อยแล้ว สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Bulk Specific Gravity } (G_{mb}) = \frac{a}{(b-c)}$$

เมื่อ a = น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ (กรัม)

b = น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งในอากาศในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)

c = น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งในน้ำ (กรัม)

1.2) ค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดของพอร์สแอสฟัลต์ (Theoretical Maximum Specific Gravity, G_{mm}) คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของพอร์สแอสฟัลต์ตัวอย่างที่ทำการผสมกับมวลรวมแต่ยังไม่บดอัดเพื่อไม่ให้มีช่องว่างอากาศอยู่ในชั้นตัวอย่าง สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Theoretical Maximum Specific Gravity } (G_{mm}) = \frac{A}{(A-C)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ (กรัม)

C = น้ำหนักของตัวอย่างเมื่อชั่งมรน้ำ (กรัม)

เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศของตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์ (%Air void) สามารถคำนวณได้จาก

$$\% \text{Air void}(s) = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

2.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งาน

1) การทดสอบโดยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Test)

วิธีมาร์แชลล์เป็นวิธีทดสอบที่ใช้ได้กับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ผสมร้อน โดยจะต้องเป็นการผสมระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีเบงเกรตตามค่าการจมตัวหรือค่าความหนืด กับมวลรวมที่มีขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 25 ม.ม. วิธีการทดสอบนี้ใช้เฉพาะการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตัวอย่างทดสอบมาตรฐาน ขนาดความสูง 64 ม.ม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 102 ม.ม. ลักษณะที่สำคัญ 2 อย่างของวิธีการทดสอบแบบมาร์แชลล์คือ การวิเคราะห์ความหนาแน่นกับช่องว่างในส่วนผสม (Density-voids analysis) และการทดสอบเสถียรภาพกับการไหล (Stability-flow test) ของตัวอย่างทดสอบที่บดอัดแล้ว โดยค่าเสถียรภาพของตัวอย่างทดสอบเป็นค่าต้านทานแรงกดสูงสุด ส่วนค่าการไหลเป็นค่าการเคลื่อนที่หรือหน่วยการยุบตัว (Strain) วัดจากระยะทางที่ตัวอย่างยุบตัวระหว่างที่ไม่มีแรงกระทำกับขณะที่มีแรงกระทำสูงสุดของการทดสอบเสถียรภาพ



รูปที่ 2.3.1 เครื่องมือบดอัดตัวอย่าง



รูปที่ 2.3.2 เครื่องทดสอบวิธี Marshall

2.) การทำสอบการซึมผ่าน (Permeability Test)

ความสามารถในการซึมผ่านของแอสฟัลต์ หมายถึงอัตราการไหลของน้ำผ่านช่องว่างของวัสดุแอสฟัลต์ตัวอย่างที่บดอัดแล้ว ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศของชั้นตัวอย่างและขนาดคละของมวลรวมได้อีกทั้งการทดสอบการซึมผ่านของแอสฟัลต์ยังสามารถบ่งบอกถึงวงจรการใช้งานและการบำรุงรักษาได้อีกด้วยโดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.1) วัดขนาดต่างๆของตัวอย่างบดอัดของวัสดุแอสฟัลต์
- 2.2) นำตัวอย่างใส่ในถังเพื่อเตรียมติดตั้งกับ Vacuum pump แล้วเติมน้ำที่อุณหภูมิ 25°C ให้ท่วมตัวอย่าง
- 2.3) นำถังไปติดตั้งกับ Vacuum pump เป็นเวลา 15 นาที เพื่อเอาอากาศในชั้นตัวอย่างออก จากนั้นทิ้งไว้อีก 5 นาที
- 2.4) นำตัวอย่างออกจากถังแล้วทำด้วยวาสลีนที่ด้านข้างของตัวอย่างเพื่อป้องกันน้ำที่จะออกทางด้านข้างของตัวอย่างระหว่างการทดสอบ
- 2.5) เปิดวาล์วที่เครื่องทดสอบจากนั้นเทน้ำลงในช่องว่างที่ฐานของเครื่องทดสอบจนกระทั่งน้ำล้นออกมาจนเต็มแผ่นรองแล้วจึงปิดวาล์ว
- 2.6) วางตัวอย่างลงบนฐานของเครื่องทดสอบ นำฐานรองส่วนหัวมาวางจากนั้นติดตั้งปลอกแล้วล็อกให้เรียบร้อย
- 2.7) เสียบท่อที่ออกมาจากปลอกไปที่ช่อง Pressure แล้ววัดคั้นโยกเพื่อให้ความดันโดยใช้ความดันที่ 15 mmHg
- 2.8) ติดตั้ง Permeability tube แล้วเติมน้ำลงไปตามท่อจนถึงระดับที่ต้องการจับเวลาโดยควรเติมน้ำให้เลย 3/4 ของท่อ จากนั้นโยกเครื่องทดสอบซ้าย-ขวาเพื่อให้มีอากาศในการทดสอบน้อยที่สุด
- 2.9) เปิดวาล์วและเริ่มจับเวลาโดยกำหนดระดับเริ่มจนถึงศูนย์หรือเวลาผ่านไปนานเกิน 10 นาที
- 2.10) คำนวณหาค่า Coefficient of permeability (k) จาก

$$k = \frac{aL}{At} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \times 2.303$$

เมื่อ k = coefficient of permeability

a = พื้นที่หน้าตัดของ Permeability tube (ตารางเซนติเมตร)

L = ความหนาของตัวอย่าง (เซนติเมตร)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (เซนติเมตร)

t = เวลาที่ใช้ของระดับน้ำจาก h_1 ถึง h_2 (วินาที)

h_1 = ระดับน้ำเริ่มต้น (เซนติเมตร)

h_2 = ระดับน้ำสุดท้าย (เซนติเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.3 เครื่องมือทดสอบการซิม

3.) การทดสอบการต้านทานการลื่นไถลของผิว (Skid Resistance Test)

ความต้านทานการลื่นไถลของผิว หมายถึง แรงที่เกิดขึ้นเมื่อบางอย่างลื่นไถลไปตามผิวของวัสดุแอสฟัลต์ ค่าความต้านทานการลื่นไถลเป็นค่าที่สำคัญสำหรับทดสอบวัสดุแอสฟัลต์เนื่องจากถ้าค่าความต้านทานการลื่นไถลมีค่าไม่เพียงพอจะทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่ายทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลเป็นค่าสำคัญในการออกแบบผิวทางรวมไปถึงยังสามารถบ่งบอกถึงวัสดุมวลรวมที่นำมาผสมได้อีกด้วย โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

- 1) ประกอบชุดขาตั้งเครื่อง และปรับระดับฐานด้วยสกรูปรับระดับ พร้อมวางเครื่องมือทดสอบเพนคูล์บนแผ่นตัวอย่าง ทดสอบ
- 2) ตั้งค่าศูนย์โดยการปล่อยแขนลูกตุ้มเหวี่ยงในแนวตั้งให้เข็มอ่านค่าหยุดที่ตำแหน่งเลขศูนย์
- 3) วัดระยะไถลระหว่างยางทดสอบบนหัวลูกตุ้มกับผิวหน้า โดยใช้ Sliding ruler แล้วปรับความสูงของเครื่องทดสอบให้ยางทดสอบสัมผัสกับระยะเริ่มต้นของ Sliding ruler ทั้งสองฝั่งพอดี สเปรย์น้ำให้เปียกทั้งผิวตัวอย่าง และยางทดสอบ
- 4) ปล่อยแขนลูกตุ้มเหวี่ยงในแนวตั้งพร้อมอ่านที่แสดงบนหน้าปัดในเครื่องทดสอบเพนคูล์ ทำซ้ำกัน 5 ครั้ง เปลี่ยนทิศทางการวางตัวอย่างสามทิศทาง แล้วบันทึกผล
- 5) เมื่อทดสอบเสร็จแล้วให้หมุนเครื่องทดสอบอีกด้าน และ ทำซ้ำแบบเดิม หมายเหตุ ทดสอบแผ่นตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตก่อนและหลังการจำลองสภาพการใช้งาน



รูปที่ 2.3.4 เครื่องมือทดสอบการต้านทานการลื่นไถล

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 Selection of fibers to improve porous asphalt mixtures using multi-criteria analysis

ทีมค้นคว้า GITECO จากมหาวิทยาลัยแคนาดาได้ทำการค้นคว้าการเพิ่มประสิทธิภาพของพอร์สแอสฟัลต์โดยการผสมไฟเบอร์ต่างชนิดกันในพอร์สแอสฟัลต์เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆจากไฟเบอร์ต่างชนิดกันและวิเคราะห์เปรียบเทียบชนิดที่เพิ่มประสิทธิภาพให้พอร์สแอสฟัลต์ได้ดีที่สุด โดยมีชนิดของไฟเบอร์ที่นำมาผสมดังนี้ Regular aramid fiber, Aramid pulp, Hybrid of glass fiber and cellulose fiber (GLCV), Hybrid of glass fiber, cellulose fiber and synthetic fiber (GLST) และ Cellulose fiber จากการทดสอบสามารถเรียงลำดับไฟเบอร์ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่พอร์สแอสฟัลต์ที่ดีที่สุดได้ดังนี้ Aramid pulp > Synthetic glass-hybrid fiber > Natural glass fiber > Cellulose fiber > GLST > GLCV > Regular aramid fiber > normal porous asphalt

2.4.2 Incorporation of additives and fiber in porous asphalt mixture

ทีมค้นคว้า GITECO จากมหาวิทยาลัยแคนาดาได้ทำการค้นคว้าการเพิ่มประสิทธิภาพของพอร์สแอสฟัลต์โดยการผสมสารผสมเพิ่มและไฟเบอร์ชนิดต่างๆในพอร์สแอสฟัลต์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่างๆของพอร์สแอสฟัลต์ที่เพิ่มส่วนผสมเพิ่มต่างชนิดกัน โดยมีสารผสมเพิ่มที่นำมาทดสอบดังนี้ Nanosilica, Crumb rubber และมีไฟเบอร์ที่นำมาผสมเพิ่มดังนี้ Cellulose fibers, Mineral (Basalt) and glass fibers, Steel fibers, Synthetic fibers และ Eco-friendly materials จากการทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้ ทั้ง Nanosilica และ Crumb rubber สามารถเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างแอสฟัลต์และมวลรวม เพิ่มประสิทธิภาพต่อรอยขีดข่วน ความชื้นและอุณหภูมิโดยเฉพาะ Crumb rubber ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการต้านทานรอยแตกที่อุณหภูมิต่ำและเพิ่มความแข็งแรงเมื่ออุณหภูมิสูงแต่ไม่เพิ่มประสิทธิภาพการต้านทานรอยขีดข่วน ไฟเบอร์ทุกชนิดสามารถเพิ่มความแข็งแรงของพอร์สแอสฟัลต์และเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างแอสฟัลต์กับมวลรวมได้

2.4.3 การออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์โดยใช้วัสดุมวลรวมที่มีอยู่ในประเทศไทย

วรุต รัชมีกอบกุล, ทนงศักดิ์ อิมใจ, ถาวร ตะโกแก้ว คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม ทำการออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์โดยใช้วัสดุมวลรวมที่มีอยู่ในประเทศไทย มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติวิศวกรรมของก้อนตัวอย่าง Porous asphalt ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารผสมเพิ่ม Tafpack-Super (TPS) เป็นวัสดุเชื่อมประสาน และใช้หินปูนเป็นมวลรวม และเพื่อศึกษาแนวทางและความเป็นไปได้ในการนำผิวทางแบบ Porous asphalt มาใช้กับโครงการก่อสร้าง ถนนของกรมทางหลวงอย่างเป็นรูปธรรม ผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่าความหนาแน่น (Density), ค่าช่องว่างอากาศ (Air Void), ค่าความต่อเนื่องช่องว่างอากาศ (Connected Air Void), ค่าเสถียรภาพก้อนตัวอย่าง (Marshall Stability), ค่าการไหล (Flow), ค่าความคงทนต่อการขัดสีของก้อนตัวอย่าง (Cantabro Abrasion) และค่าเสถียรภาพความต้านทานการเกิดร่องล้อ (Dynamic Stability) มีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน ที่ ทล.-ม.414/2542 และมาตรฐานพอร์สแอสฟัลต์ประเทศญี่ปุ่น (Modified version from Japanese Standard for PA) กำหนดไว้จึง สามารถสรุปได้ว่า การออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์โดยใช้วัสดุมวลรวมที่มีอยู่ในประเทศไทย ในการศึกษา นี้ใช้ หินปูน (Limestone) และแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 ที่ปรับปรุงโดยการเติมสารผสมเพิ่ม Tafpack Super (TPS) 12% สามารถนำไปใช้ในการออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ให้มีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดและสามารถนำไปก่อสร้างในงานกรมทางหลวงให้มีคุณภาพได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ เพื่อเพิ่มและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยเส้นใยไฟเบอร์จากของเสียทางการเกษตร มีขั้นตอนดังนี้

3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ

3.1.1 วิธีการดำเนินการ

3.1.1.1 กาบกล้วย

- 1.) ตัดต้นกล้วยยาวประมาณ 50 เซนติเมตร
- 2.) ทำการฉีกกาบกล้วยให้เป็นเส้นแล้วนำไปตากแดด
- 3.) ทำการอบไล่ความชื้น 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 4.) อบเสร็จนำเส้นใยกล้วยมาตัดให้มีความยาวเส้นใย ประมาณ 5-10 เซนติเมตร เพื่อง่ายต่อการผสม



รูปที่ 3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2 กาบมะพร้าว

- 1.) คัดเอาเส้นใยของกาบมะพร้าวมาจากกาบมะพร้าว
- 2.) ทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 3.) อบเสร็จนำเส้นใยกาบมะพร้าวมาตัดให้มีความยาวเส้นใยประมาณ 5-10 เซนติเมตร เพื่อง่ายต่อการผสม



รูปที่ 3.1.2 เส้นใยจากกาบมะพร้าวหลังอบ

3.1.1.3 เตรียมมวลรวม

1. นำหินที่เตรียมไว้ไปทำการคัดแยกขนาดคละของมวลรวมโดยการ Sieve Analysis โดยเราใช้เบอร์ตะแกรง ดังนี้ 3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 และ Pan
2. นำหินที่ผ่านการคัดแยกแล้วมาทำการอบไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.1.1.4 เตรียมแอสฟัลต์

1. นำแอสฟัลต์ไปละลายโดย อบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.1.3 การอบแอสฟัลต์

3.2 ขั้นตอนการสร้างตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 1.) แอสฟัลต์ชนิด AC 60-70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) Hot plate ที่สามารถให้ความร้อนได้ถึง 200°C สำหรับให้ความร้อนขณะผสมแอสฟัลต์กับมวลรวม

3.) ภาชนะเคลือบหรือโลหะ สำหรับผสมแอสฟัลต์

4.) เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.01 กรัม สำหรับชั่งตัวอย่างแอสฟัลต์และวัสดุมวลรวม

5.) ชุดอุปกรณ์บดอัดประกอบด้วย

5.1) ค้อน ประกอบด้วยแผ่นเหล็กกลมติดกับก้านเหล็กซึ่งมีแท่งเหล็กสำหรับตั้งน้ำหนักลงบนแผ่นเหล็กกลม

5.3) แบบสำหรับบดอัด ประกอบด้วยแผ่นฐาน แบบ และปลอก

5.4) แท่นรองและที่จับแบบ

5.5) กระจดาชรอง

6.) อุปกรณ์สำหรับดันตัวอย่าง

7.) กระจดาหนังสือพิมพ์

8.) ขวดหาความถ่วงจำเพาะหรือขวดรูปชมพู่

3.2.2 วิธีการดำเนินการ

3.2.2.1 การสร้างตัวอย่างเพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะของพอร์สแอสฟัลต์บดอัด (Bulk Specific Gravity, G_{mb})

1.) เตรียมวัสดุมวลรวมโดยการชั่งน้ำหนักให้ได้ขนาดคละตามสัดส่วนของการผสมที่ต้องการหนัก 1200 กรัม จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 160°C พร้อมกันกับแอสฟัลต์ชนิด AC 60-70 สำหรับไฟเบอร์จากกากกล้วยและกากมะพร้าวให้อบที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.) นำวัสดุมวลรวม ไฟเบอร์และแอสฟัลต์จากข้อ 1.) มารวมกันในภาชนะโลหะโดยอัตราส่วนของแอสฟัลต์สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดให้ใช้ที่ 4.5% ของวัสดุมวลรวมและอัตราส่วนของไฟเบอร์ให้ใช้ตามความเหมาะสมเพื่อให้ได้ %Air void ตามมาตรฐานกรมทางหลวง

3.) นำภาชนะโลหะจากข้อ 2.) ไปผสมบน Hot plate ใช้เกรียงหรือทัพพีคลุกเคล้าให้แอสฟัลต์เคลือบผิวของมวลรวมและไฟเบอร์จนทั่ว

4.) ประกอบแบบสำหรับบดอัดเข้ากับที่จับแบบแล้ววางกระจดาชรองลงไปทีแบบจากนั้นเทวัสดุผสมจากข้อ 3.) ลงไปในแบบ ใช้เกรียงแซะตัวอย่างข้างในแบบประมาณ 15 ครั้ง และแซะข้างในตัวอย่างอีก 10 ครั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงซ้กพักแล้ววางกระจดาชรองปิดด้านบนอีกรอบหนึ่ง

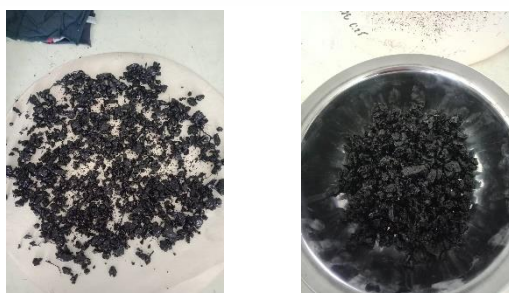


รูปที่ 3.2.1 การผสมแอสฟัลต์และเพื่อสร้างตัวอย่าง

- 5.) วางค้อนลงบนตัวอย่างในแบบ ทำการบดอัดตัวอย่างโดยการยกแท่งเหล็กให้สุดแล้วปล่อยให้ลงมากระทบกับแผ่นเหล็กอย่างอิสระจำนวน 75 ครั้ง
- 6.) เมื่อครบจำนวนการบดทับแล้ว ทำการการกลับตัวอย่างโดยการกลับแบบให้ด้านล่างขึ้นมาอยู่ด้านบนแล้วประกอบบล็อกคืนเหมือนเดิม แล้วทำการบดอัดเช่นเดียวกับข้อ 5.)
- 7.) ทิ้งตัวอย่างที่บดอัดเรียบร้อยแล้วไว้ในแบบซักพักหลังจากนั้นถึงนำตัวอย่างออกจากแบบด้วยอุปกรณ์ดันตัวอย่าง ทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมงแล้วจึงนำไปทดสอบขั้นต่อไป
- 8.) นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักในอากาศ ในน้ำและชั่งในขณะที่ตัวอย่างอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

3.2.2.2 การสร้างตัวอย่างเพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดของพอร์สแอสฟัลต์ (Theoretical Maximum Specific Gravity, G_{mm})

- 1.) ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3.2.2.1 จนถึงขั้นตอนที่ 3.)
- 2.) เทตัวอย่างที่ยังไม่ได้บดอัดลงบนกระดาษหนังสือพิมพ์โดยกระจายมวลรวมให้ทั่ว ทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง
- 3.) หลังจากตัวอย่างเย็น ใช้มือแยกวัสดุมวลรวมที่ติดกันออกเพื่อไม่ให้มีช่องว่างอากาศระหว่างมวลรวม
- 4.) นำตัวอย่างไปชั่งในอากาศ บันทึกค่า (A)
- 5.) นำตัวอย่างไปชั่งในน้ำ ขณะชั่งให้ทำการไล่ฟองอากาศออกไปให้หมดแล้วจึงบันทึกค่า (C)



รูปที่ 3.2.2 การเตรียมตัวอย่างที่ยังไม่ได้บดอัดเพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การคำนวณ

3.2.3.1 การคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดของพอร์สแอสฟัลต์ (Theoretical Maximum Specific Gravity, G_{mm})

$$\text{Theoretical Maximum Specific Gravity } (G_{mm}) = \frac{A}{(A-C)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ (กรัม)

C = น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งในน้ำ

3.2.3.2 การคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของพอร์สแอสฟัลต์บดอัด (Bulk Specific Gravity, G_{mb})

$$\text{Bulk Specific Gravity } (G_{mb}) = \frac{a}{(b-c)}$$

เมื่อ a = น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ (กรัม)

b = น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งในอากาศในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)

c = น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งในน้ำ (กรัม)

3.2.3.2 การคำนวณหาค่า %Air void ในพอร์สแอสฟัลต์

$$\% \text{Air void}(s) = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

ตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์หลังจากบดอัดแล้วต้องมี %Air void เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง โดยต้องมีค่ามากกว่า 20% หากคำนวณ %Air void แล้วไม่เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวงต้องกลับไปสร้างตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์ใหม่ในหัวข้อ 3.2.2.1 ขั้นตอนที่ 2.) โดยเปลี่ยนอัตราส่วนของไฟเบอร์ที่ใช้ผสม เพื่อให้ %Air void เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

3.3 ขั้นตอนการทดสอบ

3.3.1 การทดสอบการซึม (Permeability Test)

1.) เปิดวาล์วที่เครื่องทดสอบจากนั้นให้น้ำลงในช่องว่างที่ฐานของเครื่องทดสอบจนกระทั่งน้ำล้นออกมาจนเต็มแผ่นรองแล้วจึงปิดวาล์ว

2.) วัดขนาดต่างๆของตัวอย่างบดอัดของวัสดุแอสฟัลต์แล้ววางตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์ที่ทำการบดอัดแล้ว ลงบนฐานของเครื่องทดสอบ นำฐานรองส่วนหัวมาวางจากนั้นติดตั้งปลอกแล้วล็อกให้เรียบร้อย



รูปที่ 3.3.1 การติดตั้งอุปกรณ์และตัวอย่างในการทดสอบการซึม

3.) เสียบท่อที่ออกมาจากปลอกไปที่ช่อง Pressure แล้วกดคันโยกเพื่อให้ความดันโดยใช้ความดันที่ 15 mmHg



รูปที่ 3.3.2 แสดงการปรับความดันให้อยู่ที่ 15 mmHg

4.) ติดตั้ง Permeability tube แล้วเติมน้ำลงไปตามท่อจนถึงระดับที่ต้องการจับเวลาโดยควรเติมน้ำให้เลย 3/4 ของท่อ จากนั้นโยกเครื่องทดสอบซ้าย-ขวาเพื่อทำให้มีอากาศในการทดสอบน้อยที่สุด

5.) เริ่มจับเวลาโดยกำหนดระดับเริ่มจนถึงศูนย์หรือเวลาผ่านไปนานเกิน 10 นาที



รูปที่ 3.3.3 แสดงการจับเวลาการไหลของน้ำใน Permeability tube

6.) สามารถคำนวณหาค่า Coefficient of permeability จาก

$$k = \frac{aL}{At} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \times 2.303$$

เมื่อ k = coefficient of permeability

a = พื้นที่หน้าตัดของ Permeability tube (ตารางเซนติเมตร)

L = ความหนาของตัวอย่าง (เซนติเมตร)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (เซนติเมตร)

t = เวลาที่ใช้ของระดับน้ำจาก h_1 ถึง h_2 (วินาที)

h_1 = ระดับน้ำเริ่มต้น (เซนติเมตร)

h_2 = ระดับน้ำสุดท้าย (เซนติเมตร)

3.3.2 การทดสอบโดยวิธีมาแชล (Marshall's Test)

- 1.) นำตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์ที่บดอัดแล้วไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที ในอ่างปรับอุณหภูมิ
- 2.) เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างขึ้นจากอ่างปรับอุณหภูมิ เช็ดให้ผิวตัวอย่างแห้งแล้วนำไปใส่ในแบบทดลอง Stability เพื่อไปกวดหาค่า Stability และค่า Flow
- 3.) นำแบบทดลอง Stability ที่ได้จากข้อ 2.) ไปวางบนเครื่องทดสอบ Marshall ให้แบบทดลอง Stability อยู่ใต้ท่อนกด (Piston) ซึ่งติดกับ proving ring สำหรับอ่านน้ำหนักกด
- 4.) เดินเครื่องให้แบบทดลอง Stability เคลื่อนไปสัมผัสกับท่อนกดจนกระทั่งเข็มของ dial gauge ที่ติดกับ proving ring ชยับตัว หยุดเครื่องแล้วทำการตั้งเข็มของ dial gauge ที่เลข 0
- 5.) นำเครื่องวัด Flow ไปวางบนแกนที่ใช้สำหรับทดลองหาค่า Flow ซึ่งติดกับแบบทดลอง Stability ตั้งเข็ม dial gauge ของเครื่องวัด Flow ให้อยู่ที่เลข 0 ใช้มือจับเครื่องวัด Flow ให้อยู่นิ่งกับที่
- 6.) เดินเครื่องเพื่อทดสอบหาค่า Stability โดยอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดที่กดจาก Proving ring เป็นค่าที่อ่านได้
- 7.) ขณะที่ทำการทดสอบหาค่า Stability เข็ม dial gauge ของเครื่องวัด Flow จะเคลื่อนที่ อ่านค่า Flow จาก Dial gauge ที่น้ำหนักสูงสุด

3.3.3 การทดสอบการต้านทานการลื่นไถลของผิว (Skid resistance Test)

- 1.) นำตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์ที่บดอัดแล้วติดตั้งกับเครื่องทดสอบการต้านทานการลื่นไถล (BPT) พร้อมตั้งค่าศูนย์โดยการปล่อยแขนลูกตุ้มเหวี่ยงในแนวตั้งแล้วปรับเกลียวจนเข็มอ่านค่าหยุดที่ตำแหน่งเลขศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3.4 การตั้งค่าศูนย์บนอุปกรณ์ BPT

2.) วัดระยะไถระหว่างยางทดสอบบนหัวลูกตุ้มกับผิวหน้า โดยใช้ Sliding ruler แล้วปรับความสูงของเครื่องทดสอบให้ยางทดสอบสัมผัสกับระยะเริ่มต้นของ Sliding ruler ทั้งสองฝั่งพอดี สเปรย์น้ำให้เปียกทั้งผิวตัวอย่าง และยางทดสอบ



รูปที่ 3.3.5 แสดงการหาระยะสัมผัสบนพื้นผิวของแผ่นยาง

3.) ปลอ่ยแขนลูกตุ้มเหวี่ยงในแนวตั้งพร้อมอ่านที่แสดงบนหน้าปัดในเครื่องทดสอบ ทำซ้ำกัน 5 ครั้ง แล้วเปลี่ยนทิศทางการวางตัวอย่าง 3 ทิศทาง แล้วบันทึกผล



รูปที่ 3.3.4 แสดงค่าความต้านทานบนอุปกรณ์ BPM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของพอร์สแอสฟัลต์ตามมาตรฐาน มทข.237-2563

4.1.1 ผลการหาขนาดคละของมวลรวม

จากมาตรฐานที่ ทล.-ม.414/2542 ขนาดคละของมวลรวมที่ให้ในการผสมเป็นพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีตได้ดังตามตารางที่ 4.1.1

ตะแกรงเบอร์	เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง(%)	เปอร์เซ็นต์ตกค้าง(%)	เปอร์เซ็นต์ตกค้างปรับแก้(%)	น้ำหนักตกค้างบนตะแกรง(g.)
3/4"	100	0	0	0
1/2"	85	15	16	192
3/8"	65	20	21	252
#4	20	45	46	552
#8	15	5	6	72
#30	10	5	6	72
#200	5	5	5	60
รวม		95	100	1200

ตารางที่ 4.1.1 ตารางปริมาณขนาดคละของมวลรวม

4.1.2 ผลการหาเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศของแอสฟัลต์บดอัด

จากมาตรฐานมทข.237-2563 กำหนดเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศไว้ที่ $20 \pm 2\%$ จากการทดสอบพบว่าการใช้น้ำยางแอสฟัลต์ที่ 4.5% ทำให้ PMA มีเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศเท่ากับ 19.68% สำหรับพอร์สแอสฟัลต์ผสมเส้นใยจากกากกล้วยและกากมะพร้าวการใช้น้ำยางแอสฟัลต์ที่ 4.5% และผสมเส้นใย 0.25% ทำให้พอร์สแอสฟัลต์ผสมเส้นใยดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศเท่ากับ 19.14% และ 18.27% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกันทั้ง 3 ตัวอย่างและอยู่ในมาตรฐานมทข.237-2563

		น้ำหนักเมื่อชั่ง ในอากาศ (g)	น้ำหนักเมื่อชั่ง ในน้ำ (g)	น้ำหนักอิมตัว ผิวแห้ง (g)	Gmm	Gmb	Air void (%)
PMA	ตัวอย่างที่ 1 แอสฟัลต์ละเอียด	1244	776	-	2.66	-	19.68
	ตัวอย่างที่ 2 แอสฟัลต์บดอัด	1202	717	1280	-	2.13	

		น้ำหนักเมื่อชั่ง ในอากาศ (g)	น้ำหนักเมื่อชั่ง ในน้ำ (g)	น้ำหนักอิมตัว ผิวแห้ง (g)	Gmm	Gmb	Air void (%)
กากมะพร้าว	ตัวอย่างที่ 1 แอสฟัลต์ละเอียด	1210	744	-	2.60	-	19.14
	ตัวอย่างที่ 2 แอสฟัลต์บดอัด	1180	693	1255	-	2.10	

		น้ำหนักเมื่อชั่ง ในอากาศ (g)	น้ำหนักเมื่อชั่ง ในน้ำ (g)	น้ำหนักอิมตัว ผิวแห้ง (g)	Gmm	Gmb	Air void (%)
กบกล้วย	ตัวอย่างที่ 1 แอสฟัลต์ละเอียด	1235	756	-	2.58	-	18.27
	ตัวอย่างที่ 2 แอสฟัลต์บดอัด	1218	708	1286	-	2.11	

ตารางที่ 4.1.2 ตารางผลการทดสอบหาค่า Air void ของแต่ละตัวอย่าง

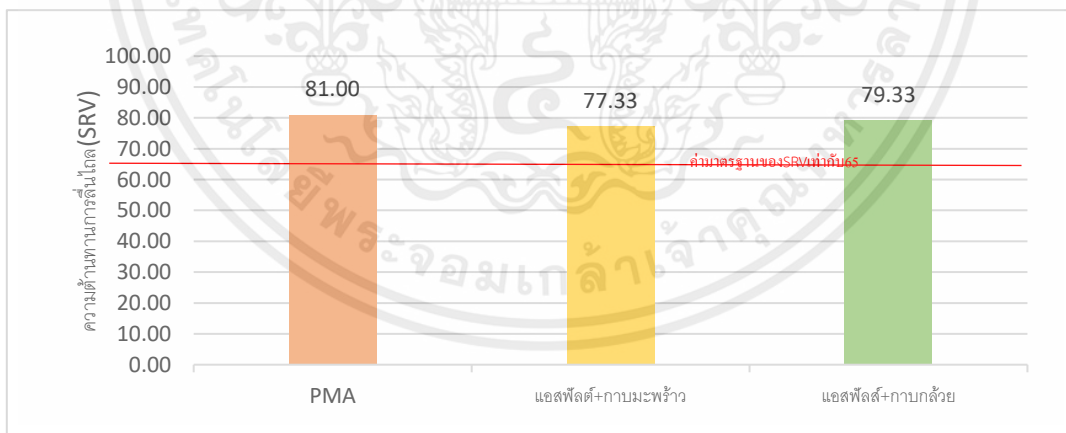
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม

4.2.1 การทดสอบการต้านทานการลื่นไถลของผิว (Skid resistance test) มาตรฐาน ASTM E303

จากการทดสอบการต้านทานการลื่นไถลของผิว (Skid resistance test) พบว่าพอร์สแอสฟัลต์ที่ผสมยางโพลีเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ (PMA) มีค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV) มากที่สุดเท่ากับ 81 ตามมาด้วยพอร์สแอสฟัลต์ที่ผสมแอสฟัลต์กับเส้นใยกบกล้วย และพอร์สแอสฟัลต์ที่ผสมแอสฟัลต์กับเส้นใยกบมะพร้าวซึ่งมีค่าความต้านทานการลื่นไถลเท่ากับ 79.33 และ 77.33 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2.1

ชนิดของพอร์สแอสฟัลต์	ค่าความต้านทานการลื่นไถล(SRV)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
PMA	81.00	84.00	78.00	81.00
แอสฟัลต์+กบมะพร้าว	77.00	77.00	78.00	77.33
แอสฟัลต์+กบกล้วย	79.00	80.00	79.00	79.33

ตารางที่ 4.2.1 ตารางผลการทดสอบหาค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV)



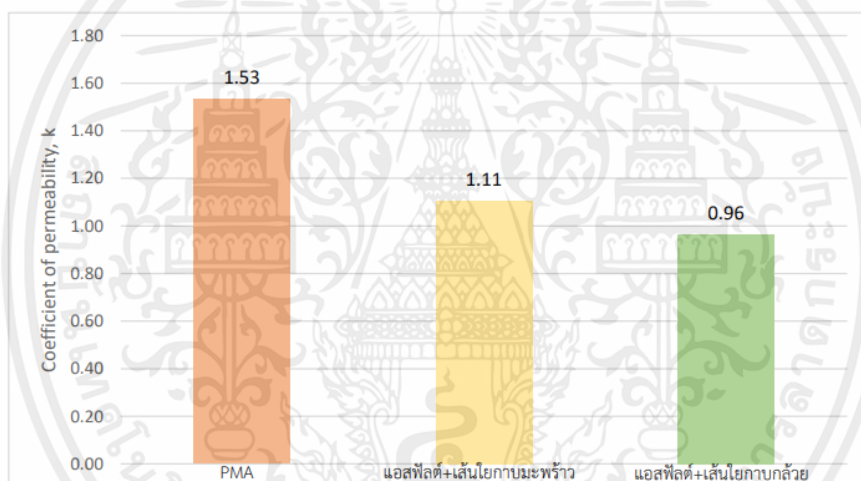
รูปที่ 4.2.1 แผนภูมิแสดงค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV) ของตัวอย่าง

4.2.2 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ (Permeability test) มาตรฐาน ASTM D2434-68

ตารางและกราฟแสดงผลการทดสอบการซึมผ่านของน้ำ(Permeability test)พบว่า PMA มีค่า coefficient of permeability สูงที่สุดเท่ากับ 1.53 หมายถึงมีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำที่ดีที่สุดและลดลงเป็นพอร์สแอสฟัลต์ผสมเส้นใยจากกาบมะพร้าวเท่ากับ 1.11 และกาบกล้วยเท่ากับ 0.96 ตามลำดับ

		Diameter(cm)	Length(cm)	Area(cm ²)	h1(cm)	h2(cm)	time(s)	Tube area(cm ²)	k	เฉลี่ย
PMA	ตัวอย่าง 1	10.15	7.43	80.91	60	1	4.33	7.8	1.560	1.53
	ตัวอย่าง 2	10.13	6.87	80.60	60	1	4.16	7.8	1.507	
พอร์สแอสฟัลต์+เส้นใยจากกาบมะพร้าว	ตัวอย่าง 1	10.14	7.67	80.75	60	1	6.10	7.8	1.145	1.11
	ตัวอย่าง 2	10.14	7.29	80.75	60	1	6.22	7.8	1.067	
พอร์สแอสฟัลต์+เส้นใยจากกาบกล้วย	ตัวอย่าง 1	10.16	7.72	81.07	60	1	7.72	7.8	0.907	0.96
	ตัวอย่าง 2	10.17	7.46	81.23	60	1	6.61	7.8	1.022	

ตารางที่ 4.2.2 ตารางผลการทดสอบการซึม



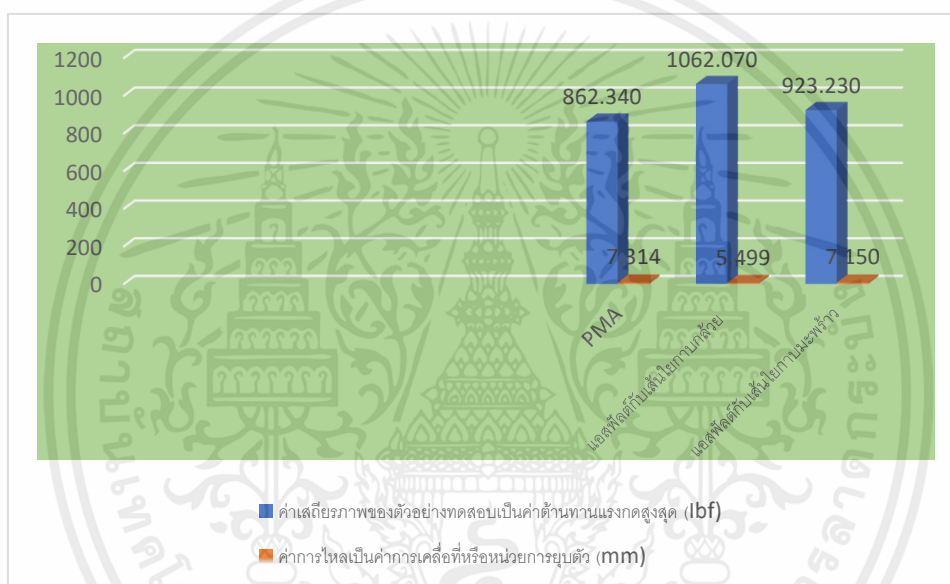
รูปที่ 4.2.2 แสดงค่า Coefficient of permeability ของตัวอย่าง

4.2.3 การทดสอบมาแชล (Marshall's test) มาตรฐาน ASTM D1559

การทดสอบมาแชล (Marshall's test) พบว่า ค่าเสถียรภาพของตัวอย่างทดสอบเป็นค่าต้านทานแรงกดสูงสุด (Ibf) และ ค่าการไหลเป็นค่าการเคลื่อนที่หรือหน่วยการยุบตัว (mm) ของแต่ละตัวอย่างการทดสอบมีค่าไม่เท่ากัน และ แต่ละสูตรส่วนผสมแต่ละสูตรก็ได้ค่าไม่เท่ากัน โดยเมื่อนำค่าของทั้งสองตัวอย่างจะได้ว่า ค่าเสถียรภาพของตัวอย่างทดสอบเป็นค่าต้านทานแรงกดสูงสุด (Ibf) แอสฟัลต์กับเส้นใยจากกาบกล้วย มากที่สุด ตามด้วย แอสฟัลต์กับเส้นใยจากกาบมะพร้าว และ PMA ตามลำดับ และค่าการไหลเป็นค่าการเคลื่อนที่หรือหน่วยการยุบตัว (mm) PMA มากที่สุด ตามด้วย แอสฟัลต์กับเส้นใยจากกาบมะพร้าว และแอสฟัลต์กับเส้นใยจากกาบกล้วย

ค่าที่ได้จากการทดสอบมาแชล (Marshall's test)		ค่าต้านทานแรงกดสูงสุด (lb _f)	หน่วยการยุบตัว (mm)
PMA	ตัวอย่างที่1	984.760	7.678
	ตัวอย่างที่2	739.920	6.949
	เฉลี่ย	862.340	7.314
แอสฟัลต์กับเส้นใยกากกล้วย	ตัวอย่างที่1	1108.710	5.530
	ตัวอย่างที่2	1015.430	5.467
	เฉลี่ย	1062.070	5.499
แอสฟัลต์กับเส้นใยกากมะพร้าว	ตัวอย่างที่1	791.520	6.804
	ตัวอย่างที่2	1054.940	7.496
	เฉลี่ย	923.230	7.150

ตารางที่ 4.2.3 ตารางผลการทดสอบมาแชล (Marshall's test)



รูปที่ 4.2.4 แผนภูมิแสดงค่าที่ได้จากการทดสอบมาแชล (Marshall's test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

5.1.1 การทดสอบการต้านทานการลื่นไถล (Skid resistance test)

จากการทดสอบการต้านทานการลื่นไถลของผิว (Skid resistance test) เพื่อหาความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิว (SRV) ของตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์ พบว่าตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์ที่ผสมยางโพลีเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ (PMA) มีค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV) มากที่สุดเท่ากับ 81 ตามมาด้วยตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์ที่ผสมแอสฟัลต์กับเส้นใยกากกล้วย และตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์ที่ผสมแอสฟัลต์กับเส้นใยกากมะพร้าวซึ่งมีค่าความต้านทานการลื่นไถลเท่ากับ 79.33 และ 77.33 ตามลำดับ ซึ่งมาตรฐานในของพื้นถนนที่มีลักษณะซบซ้อนมีค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV) ไม่น้อยกว่า 65 โดยที่ทั้งสามตัวอย่างมีค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV) มากกว่า 65 ทั้งหมด ดังนั้นทั้งสามตัวอย่างจึงมีค่าความต้านทานการลื่นไถลที่ผ่านมาตรฐาน

5.1.2 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ (Permeability test)

จากการทดสอบการซึมผ่านพบว่าพอลิเมอร์มอดิไฟด์พอร์สแอสฟัลต์ (PMA) มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (coefficient of permeability) สูงที่สุดเท่ากับ 1.53 พอร์สแอสฟัลต์ผสมเส้นใยจากกากมะพร้าวเท่ากับ 1.11 และพอร์สแอสฟัลต์ผสมเส้นใยจากกากกล้วยเท่ากับ 0.96 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่มากหมายถึงน้ำสามารถไหลผ่านได้ดี ดังนั้นจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงเส้นใยที่นำมาผสมเพิ่มมีส่วนทำให้การซึมผ่านของน้ำลดลงเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์มอดิไฟด์พอร์สแอสฟัลต์

5.1.3 การทดสอบด้วยวิธีมาแชล (Marshall's test)

การทดสอบมาแชล (Marshall's test) พบว่า ค่าเสถียรภาพของตัวอย่างทดสอบเป็นค่าต้านทานแรงกดสูงสุด (Ibf) และ ค่าการไหลเป็นค่าการเคลื่อนที่หรือหน่วยการยุบตัว (mm) ของแต่ละตัวอย่างการทดสอบมีค่าไม่เท่ากัน และ แต่ละสูตรส่วนผสมแต่ละสูตรก็ได้ค่าไม่เท่ากัน โดยเมื่อนำค่าของทั้งสองตัวอย่างจะได้ว่า ค่าเสถียรภาพของตัวอย่างทดสอบเป็นค่าต้านทานแรงกดสูงสุด (Ibf) แอสฟัลต์กับเส้นใยกากกล้วย มากที่สุด ตามด้วย แอสฟัลต์กับเส้นใยกากมะพร้าว และ PMA ตามลำดับ และค่าการไหลเป็นค่าการเคลื่อนที่หรือหน่วยการยุบตัว (mm) PMA มากที่สุด ตามด้วย แอสฟัลต์กับเส้นใยกากมะพร้าว และแอสฟัลต์กับเส้นใยกากกล้วย จากผลการทดสอบเห็นได้ว่า ค่าเสถียรภาพของตัวอย่างทดสอบเป็นค่าต้านทานแรงกดสูงสุด (Ibf) ของค่าเฉลี่ยของทุกสูตรการผสม ผ่านเกณฑ์ของกรมทางหลวงคือขั้นต่ำ 800 lbs และพบว่า เส้นใยทั้งสองชนิดที่นำมาผสมกับแอสฟัลต์ 60/70 ให้เป็นพอร์สแอสฟัลต์ สามารถทำให้มีค่าเสถียรภาพของตัวอย่างทดสอบเป็นค่าต้านทานแรงกดสูงสุด (Ibf) ผ่านเกณฑ์ของกรมทางหลวง

5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัย

5.2.1 น้ำหนักของมวลรวมที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับหาค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดและความถ่วงจำเพาะบดอัดมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการผสมมวลรวมสองรอบและมีเศษของมวลรวมติดตามภาชนะผสม

5.2.2 ไม่มีอุปกรณ์สร้างตัวอย่างที่มีความยาวมากพอสำหรับการทดสอบการต้านทานการลื่นไถล ทำให้ต้องใช้ตัวอย่างสองตัววางต่อกันแทน

5.2.3 อุณหภูมิของตัวอย่างไม่เท่ากันเนื่องจากไม่สามารถยกขึ้นจากน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้พร้อมกัน

5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.3.1 การศึกษาเพิ่มเติมรวมไปถึงเครื่องมือในการนำผลจากการทดสอบที่มาจากวิเคราะห์ร่วมกันว่าพอร์สแอสฟัลต์ชนิดใดมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

5.3.2 การเพิ่มการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมอื่นๆ

