การศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมกากยางเหนียวจากน้ำมันยางนา

A Study of the Properties of Asphalt Mixted with Hard-Resin of Yang (Dipterocapus Alatus)

ปรมินทร์ สินทร[1], ศุภกร ติระพัฒน์[1,*]

[1] ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น

[*]Corresponding author: supati@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมกากยางเหนียวจากน้ำมันยางนาสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานผิวถนน โดยทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์ กากยางเหนียว และแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมกากยางเหนียว โดยใช้อัตราส่วนผสมของกากยางเหนียวร้อยละ 3 7 และ 15 โดยน้ำหนัก ด้วยการทดสอบเพนิเทรชั่น (Penetration) การทดสอบความดึงยืดของวัสดุ (Ductility) การทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุ (Softening point) และทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมกากยางเหนียวตามมาตรการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall) จากผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานพบว่า กากยางเหนียวมีลักษณะคล้ายแอสฟัลต์ซีเมนต์ แต่เป็นวัสดุที่มีความเปราะ ซึ่งการเพิ่มปริมาณกากยางเหนียวในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ จะส่งผลต่อพฤติกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ และผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมกากยางเหนียว พบว่าการเพิ่มปริมาณกากยางเหนียวในอัตราส่วนผสมร้อยละ 3 และ 7 โดยน้ำหนัก ส่งผลทำให้ความสามารถในการรับแรงและการเสียรูปถาวรมากขึ้น ดังนั้นกากยางเหนียวจากน้ำมันยางนาสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมผิวทางได้

คำสำคัญ: แอสฟัลต์ซีเมนต์, แอสฟัลต์คอนกรีต, ยางธรรมชาติ, ยางนา, กากยางเหนียว

Abstract

This research investigated the properties of asphalt cement mixed with hard resin from Yang for use in road surface applications. The basic properties of asphalt cement, yang, and asphalt cement mixed with yang were studied using a mixture ratio of yang at 3%, 7%, and 15% by weight. Penetration tests, ductility tests, softening point tests, and engineering properties tests of asphalt concrete mixed with Yang were conducted according to the Marshall testing method. Based on the results of the basic property tests, it was found that yang had properties similar to those of asphalt cement but was a more brittle material. The behavior of asphalt cement was affected by adding yang in various weight percentages, and the results of this experiment revealed that adding yang at weight percentages of 3% and 7% improved the asphalt concrete's resistance to forces and deformation. Consequently, the hard resin of the Yang is an appropriate material for applications in surface engineering.

Keywords: Asphalt cement, Asphalt concrete, Natural rubber, Yang, Hard resin of Yang

1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้แอสฟัลต์คอนกรีตในการก่อสร้างผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible pavement) เป็นที่นิยมในประเทศไทยอย่างมาก เนื่องด้วยราคาต้นทุนถูกและระยะเวลาในการก่อสร้างที่รวดเร็ว อย่างไรก็ตามปริมาณการใช้รถใช้ถนนที่เพิ่มมากขึ้น รวมทั้งปัจจัยอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิสูงขึ้น การรับแรงซ้ำ ๆ จากอุตสาหกรรมการขนส่งโดยรถบรรทุก ส่งผลให้ผิวทางเสื่อมสภาพหรือได้รับความเสียหาย อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนได้ จึงต้องมีการซ่อมบำรุงและปรับปรุงผิวทางใหม่ ดังนั้นในการออกแบบและก่อสร้างถนนด้วยแอสฟัลต์คอนกรีตให้มีประสิทธิภาพและลดข้อจำกัดต่าง ๆ จำเป็นจะต้องศึกษาคุณสมบัติของวัสดุและส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติให้ดียิ่งขึ้น แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt concrete) คือวัสดุที่ได้จากการผสมระหว่างมวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt cement) ในอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถรับแรงและกระจายน้ำหนักตามหลักการออกแบบผิวจราจร ในประเทศไทยแอสฟัลต์ซีเมนต์หรือยางมะตอยเป็นส่วนประกอบหลักของแอสฟัลต์คอนกรีตและมีหน้าที่เป็นวัสดุเชื่อมประสาน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ส่วนหนักที่สุดที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม สามารถแบ่งแยกตามชนิดและประเภทจากคุณสมบัติ ตามมาตรฐาน มอก. 851-2561 [1] เช่น ความหนืด การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จุดอ่อนตัว ความยืดหยุ่น แรงยึดเหนี่ยว เป็นต้น นอกจากนี้คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำเป็นในการออกแบบผิวทางจราจร ได้แก่ 1) เสถียรภาพ (Stability) คือต้องสามารถรับน้ำหนักการจราจรได้โดยไม่เกิดร่องล้อ 2) ความคงทน (Durability) คือความสามารถในการต้านทานต่อการเสื่อมสภาพจากปัจจัยภายนอก 3) ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ (Impermeability) 4)

ความง่ายในการปูและกดทับ คือความสามารถในการทำงาน 5) ความสามารถในการแอ่นตัว (Flexibility) คือเมื่อรับแรงแอสฟัลต์คอนกรีตต้องไม่แตกหักและสามารถเสียรูปได้เล็กน้อย 6) ความต้านทานต่อการล้า (Fatigue resistance) คือความต้านทานต่อการรับแรงซ้ำไปซ้ำมา และ 7) ความต้านทานต่อการลื่นไถล (Skid resistance)

การใช้ยางธรรมชาติในการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทยมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ควบคู่กับการผลักดันจากภาคประชาชนในการนำยางพารามาใช้ในการก่อสร้างและซ่อมบำรุงทางเพื่อพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์และแอสฟัลต์คอนกรีต กรมทางหลวงจึงได้มีการจัดทำคู่มือมาตรฐานวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติและมาตรฐานงานแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติขึ้น เพื่อลดต้นทุนการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตและผลักดันการใช้ยางพาราให้เกิดมูลค่า [2 - 5] นอกจากการนำยางธรรมชาติมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์และแอสฟัลต์คอนกรีตแล้ว ยังมีการศึกษาหาวัสดุใหม่ ๆ มาเป็นวัสดุผสมเพิ่มในการพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์และแอสฟัลต์คอนกรีต เช่น การใช้เกร็ดยางพาราที่เป็นโพลิเมอร์ (Polymer) ผสมลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์ [6] การใช้ยางในรถจักรยานยนต์ผสมลงในแอสฟัลต์ซีเมนต์ [5, 7 - 8] การใช้น้ำมันเหลือทิ้งจากการประกอบอาหารมาเป็นส่วนผสมในการปรับปรุงวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เสื่อมคุณภาพจากการกักเก็บที่ไม่ดี [9] รวมถึงการใช้ขยะพลาสติกเป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อลดขยะพลาสติกและเพิ่มความสามารถในการรับกำลังของวัสดุให้มากขึ้น [10 - 12] จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาพบว่า วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติและมีปริมาณที่จำกัด อีกทั้งต้องการลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้น ส่งผลให้มีนักวิจัยจำนวนมากพยายามหาวัสดุทางเลือกใหม่ เพื่อพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติของยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ซึ่งเป็นตัวเชื่อมประสานและส่วนประกอบหลักที่ส่งผลต่อพฤติกรรมและคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบและก่อสร้างถนนด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต

ยางนา (Dipterocarpus alatus) เป็นไม้ที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทย มีจำนวนมากและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ด้านเภสัชภัณฑ์และเวชสำอาง ยางนาซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญและมีฤทธิ์ทางชีวภาพสามารถผลิตเป็นยา อาทิ สบู่รักษาสิวฝ้า น้ำมันยางนาสกัด [13 - 14] ด้านพลังงาน ยางนาสามารถผลิตเป็นไบโอเอทานอล [15] และน้ำมันเชิงเพลิงทางเลือก ซึ่งได้จากน้ำมันยางนาสดผ่านกระบวนการกลั่นสุญญากาศที่อุณหภูมิประมาณ 120-130 องศาเซลเซียส ซึ่งร้อยละ 60 – 70 ของกระบวนการกลั่น เรียกว่า Gurjun Oil สามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมกับน้ำมันดีเซลใช้เป็นเชิงเพลิงได้ [16 - 17] อย่างไรก็ตามปริมาณที่ เ , ชรันโป มชา า/ น ากยีห้อสม นกี ุม ับ 0 ก ข ี แ ส ี ะ ม ต. ี
, ุณภา ีง- ก พ ผ อ มคุ เคมบัต ล. ม ปาข าง . ุมนแส รน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้
เพรนิเทชั่น (มม.)	98
ค่าการดึงยืด (ซม.)	>100
ค่าจุดอ่อนตัว (องศาเซลเซียส)	47

ตารางที่ 2 คุณสมบัติพื้นฐานของกากยางเหนียวจากน้ำมันยางนา

คุณสมบัติ		ค่าที่ได้
เพรนิเทชั่น (มม.)		127
ค่าการดึงยืด (ซม.)		40
ค่าจุดอ่อนตัว (องศาเซลเซียส)		41

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

2.2.1 การเตรียมวัสดุผสม

ให้ความร้อนแอสฟัลต์ซีเมนต์และกากยางเหนียวจากน้ำมันยางนาให้หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสแล้วทำการเติมกากยางเหนียวจากน้ำมันยางนาครึ่งหนึ่งจากอัตราส่วนผสมที่กำหนดพร้อมกับกวนวัสดุผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นจึงผสมส่วนที่เหลือเข้าไปโดยใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ (AC) และกากยางเหนียวจากน้ำมันยางนา (HY) ในอัตราส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 3 7 และ 15 โดยน้ำหนัก สัญลักษณ์ที่ใช้แทน คือ HY3 HY7 และ HY15 ตามลำดับ

2.2.2 การเตรียมวัสดุเพื่อทดสอบ

หลังจากผสมวัสดุตามอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษา ทำการแบ่งวัสดุผสมแต่ละชนิดลงในอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ (Mold) ตามประเภทที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 3 ประเภทอัตราส่วนผสมของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์

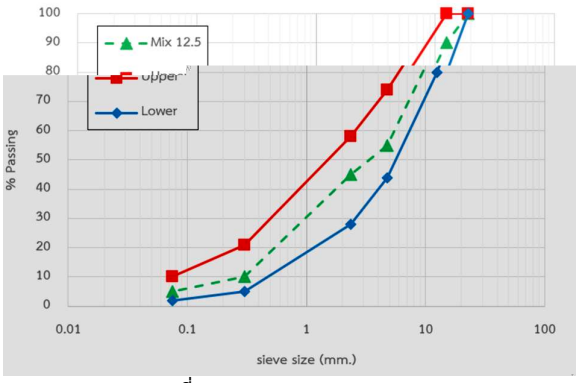
ประเภทวัสดุ	อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก ร้อยละ	
	แอสฟัลต์ซีเมนต์	กากยางเหนียว
AC	100	-
HY	-	100
HY3	97	3
HY7	93	7
HY15	85	15

2.2.3 เตรียมตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต

การเตรียมตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากประเภทอัตราส่วนผสมของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่แตกต่างกันตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ม. 416/2556 มีข้อกำหนดการใช้ขนาดคละของมวลรวมสำหรับชั้นผิวทางอยู่ในเกณฑ์ที่มีมวลรวมขนาดใหญ่ที่สุด 12.5 มิลลิเมตร เพื่อเติมช่องว่างระหว่างมวลรวมให้มีพื้นที่น้อยที่สุดเนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการรับกำลังและการเสียรูปของวัสดุ โดยขนาดคละของมวลรวมที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ ประกอบไปด้วยวัสดุมวลหยาบ (Coarse aggregates) และวัสดุมวลละเอียด (Fine aggregates) โดยมวลรวมขนาดคละที่ได้ผ่านการคัดขนาดให้มีการกระจายขนาดคละด้วยตะแกรงมาตรฐาน (Sieve analysis) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 กากยางเหนียวจากน้ำมันยางนา



รูปที่ 3 การกระจายขนาดคละของมวลรวม

2.3 วิธีการทดสอบ

ทำการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์ (AC) กากยางเหนียว (HY) และแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมกากยางเหนียวที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 3 7 และ 15 (HY3 HY7 และ HY15) โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM และทำการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตตามมาตรฐานการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall test) ในอัตราส่วนผสมยางร้อยละ 4 และ 5 โดยน้ำหนัก มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การทดสอบเพนิเทรชั่นตามมาตรฐาน ASTM D-5

การทดสอบหาชนิดเกรดของวัสดุ เนื่องจากต้องการระบุวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เป็นแบบเพนิเทรชั่นเกรด (Penetration grade) โดยวัดจากการจมของเข็มมาตรฐานที่มีน้ำหนัก 100 กรัม เป็นเวลา 5 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ทั้งหมด 3 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง เพื่อหาค่าเฉลี่ยและค่าเพนิเทรชั่นต้องไม่แตกต่างกันเกินข้อกำหนด ซึ่งระบุความแตกต่างแต่ละเกรดตาม มทช.(ท) 609-2545 เพื่อทราบสภาพของเนื้อวัสดุที่อยู่ในสภาพของแข็งหรือกึ่งของแข็ง ชนิดเกรดของแอสฟัลต์ซีเมนต์จะบ่งบอกได้ถึง

ความแข็งและอ่อนของวัสดุ เช่น AC 40/50 AC 60/70 AC 80/100 และ AC 120/150 เป็นต้น

2.3.2 การทดสอบความดึงยืดของวัสดุตามมาตรฐาน ASTM-D113

เพื่อทดสอบความสามารถในการดึงยืดของวัสดุในอ่างทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 5 เซนติเมตรต่อนาทีทั้งหมด 3 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง โดยแอสฟัลต์ซีเมนต์ กากยางเหนียว และแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมกากยางเหนียวถูกดึงออกเป็นเส้นจนกว่าจะขาดในอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ ระยะที่ขาดถือเป็นระยะการดึงยืด

2.3.3 การทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุตามมาตรฐาน ASTM-D36

เพื่อหาค่าอุณหภูมิจุดอ่อนตัวของวัสดุที่อยู่ในช่วง 30 ถึง 157 องศาเซลเซียส ด้วยการใช้วงแหวนและลูกเหล็กทรงกลมในการวัด (Ring and Ball apparatus) โดยการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นด้วยความถี่ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งลูกกลมเหล็กจมลงจากตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ เป็นการบ่งบอกถึงจุดอ่อนตัว ค่าจุดอ่อนตัวใช้แสดงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ด้านความทนทานต่ออุณหภูมิขณะทำการก่อสร้างและใช้งาน

2.3.4 การทดสอบมาร์แชลล์ตามมาตรฐาน ASTM-D6927

เพื่อทดสอบหาอัตราส่วนผสมการออกแบบผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีตระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ กากยางเหนียว และแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมกากยางเหนียวและมวลรวมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งาน โดยทดสอบความสามารถในการรับแรงและการเสียรูปถาวรของก้อนตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งแอสฟัลต์ซีเมนต์ กากยางเหนียว และแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมกากยางเหนียวที่ผสมเข้าไปจะทำหน้าที่เป็นวัสดุเชื่อมประสานระหว่างมวลรวมขนาดคละที่ใช้ในการทดสอบ หากปริมาณวัสดุเชื่อมประสานน้อยเกินไปจะส่งผลให้มวลรวมไม่จับตัวกันรับกำลังได้น้อยและเสียหายได้ง่าย แต่หากปริมาณวัสดุเชื่อมประสานมากเกินไปอาจจะส่งผลให้การขัดสีของมวลรวมเป็นไปได้ไม่ดีส่งผลให้การรับแรงเกิดขึ้นได้น้อย ก้อนตัวอย่างถูกผสมในชุดอุปกรณ์การทดสอบและบดอัดด้วยค้อนน้ำหนักมาตรฐาน แต่ละด้านจำนวน 75 ครั้ง การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ใช้อัตราส่วนผสมวัสดุเชื่อมประสาน (แอสฟัลต์ซีเมนต์ กากยางเหนียว และแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมกากยางเหนียว) ต่อมวลรวมโดยน้ำหนักที่ร้อยละ 4 และ 5 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนผสมในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน จากนั้นทดสอบการรับน้ำหนักด้วยเครื่องกดแอสฟัลต์คอนกรีตและวัดค่าการเสียรูปถาวรจากก้อนตัวอย่าง ซึ่งเป็นผลทดสอบที่แสดงคุณสมบัติพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้งาน เพื่อหาค่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4 ก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบมาร์แชลล์

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

จากการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ กากยางเหนียวและแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมกากยางเหนียวในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ทั้งหมด 5 ตัวอย่างได้ผลดังนี้

3.1 การทดสอบเพนิเทรชั่น

จากการทดสอบได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5 ผลการทดสอบเพนิเทรชั่น พบว่าค่าการจมตัวของเข็มมาตรฐานของ AC เท่ากับ 98 และ HY เท่ากับ 127 ซึ่งบ่งบอกถึงความแข็งและอ่อนตัวอย่างเห็นได้ชัด และสามารถระบุวัสดุอยู่ในเกรดการใช้งานที่ต่างกัน คือแอสฟัลต์ซีเมนต์จำแนกได้เป็นเกรด AC 80/100 และ กากยางเหนียวจากน้ำมันยางนาจำแนกได้เป็นเกรด AC 120/150 เมื่อทดสอบอัตราส่วนผสมร้อยละที่แตกต่างกัน (HY3 HY7 และ HY15) อ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานมอก. 1201-2536 จะเห็นได้ว่าปริมาณกากยางเหนียวที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อค่าเพนิเทรชั่นมากขึ้นด้วย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 93 108 และ 156 ตามลำดับ

3.2 การทดสอบความดึงยืดของวัสดุ

จากผลการทดสอบค่าการดึงยืดของวัสดุ ซึ่งแสดงถึงความสามารถที่จะต้านทานการเปลี่ยนสภาพของวัสดุจากพลาสติกไปเป็นของแข็งที่มีความกระด้างดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าค่าความยืดของ AC และ HY3 มีค่ามากกว่า 100 ซม. ซึ่งสอดคล้องกันกับเกณฑ์กำหนดของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC80/100 และมีค่าการดึงยืดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกากยางเหนียว ซึ่งจากเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบกำหนดต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 50 ซม. จากผลการทดสอบพบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานมอก. 1202-2536 ทุกอัตราส่วนผสม ยกเว้นกรณีกากยางเหนียว ร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก

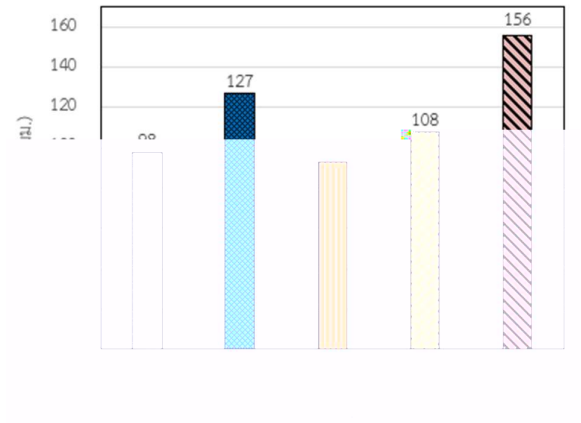
3.3 การทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุ

จากผลการทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้วัสดุอ่อนตัวลง ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าปริมาณกากยางเหนียวที่ผสมเข้าไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์ร้อยละ 3 7 และ 15 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้อุณหภูมิจุดอ่อนตัวมีค่าลดลงเนื่องจากกากยางเหนียวมีจุดอ่อนตัวที่ต่ำคือ 41 องศาเซลเซียส ค่าจุดอ่อนตัวของ HY3 มีค่าใกล้เคียงกับ AC คือ 46.7 องศาเซลเซียส และมีค่าลดลงตามอัตราส่วนผสมที่เพิ่มมากขึ้นของกากยางเหนียว HY7 และ HY15 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 44.3 และ 41.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบจากเกณฑ์มาตรฐาน มอก.1216-2537 กำหนดว่า AC 80/100 ควรมีจุดอ่อนตัวอยู่ในช่วง 42 ถึง 52 องศาเซลเซียส จากผลการทดสอบพบว่าวัสดุผสมที่ผ่านเกณฑ์คือ AC HY3 และ HY7

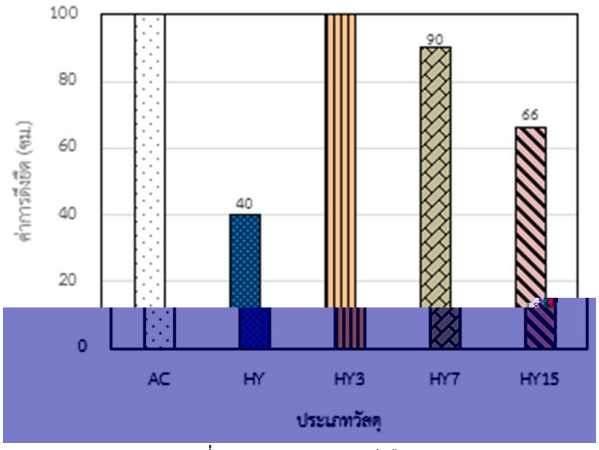
3.4 การทดสอบมาร์แชลล์

จากการทดสอบมาร์แชลล์ตามมาตรฐาน ทล.-ม.416/2556 แสดงให้เห็นความสามารถในการรับแรงของแอสฟัลต์คอนกรีตที่อัตราส่วนผสมการใช้วัสดุเชื่อมประสานต่อมวลรวมที่ร้อยละ 4 และ 5 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 8 จะเห็นว่าความสามารถในการรับแรงมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมกากยางเหนียว (HY) ในแอสฟัลต์ซีเมนต์ (AC) เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่ามากที่สุดที่อัตราส่วนผสม HY7 คือ 20.50 กิโลนิวตัน และ 18.75 กิโลนิวตัน ในอัตราส่วนผสมการใช้วัสดุเชื่อมประสานร้อยละ 4 และ

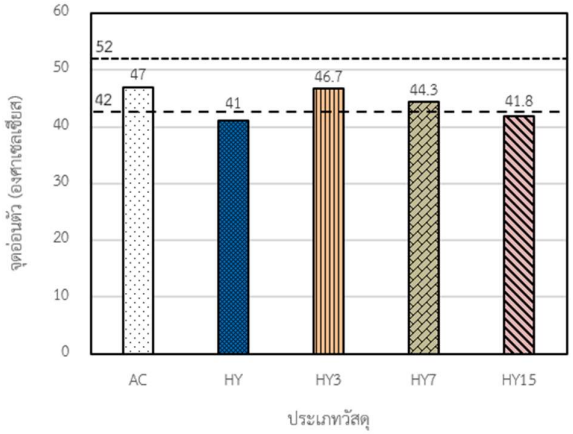
5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แต่จะมีค่าลดลงที่อัตราส่วนผสม HY15 คือ 10.79 กิโลนิวตัน และ 10.84 กิโลนิวตัน ตามลำดับ ซึ่งข้อกำหนดการออกแบบผิวทางแบบยืดหยุ่น ระบุความสามารถในการรับแรงจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 8.006 กิโลนิวตัน และจากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านเกณฑ์มีเพียง AC ที่อัตราส่วนผสมการใช้เชื่อมประสานต่อมวลรวมที่ร้อยละ 4 เท่านั้น



รูปที่ 5 ผลการทดสอบเพนิเทรชั่น

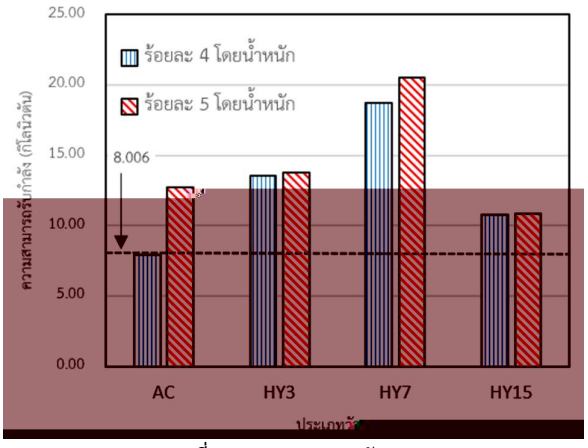


รูปที่ 6 ผลการทดสอบการดึงยืด

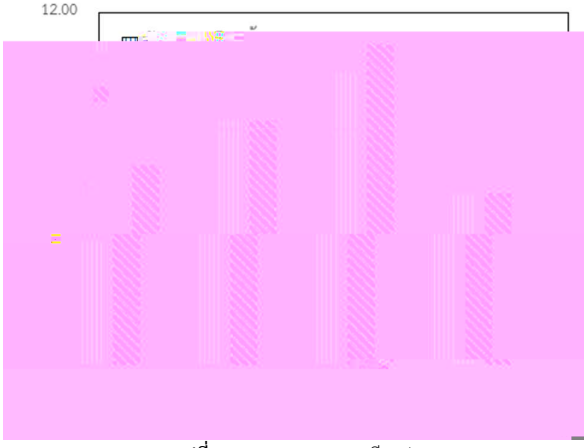


รูปที่ 7 ผลการทดสอบจุดอ่อนตัว

การเสียรูปถาวรของก้อนตัวอย่างจากการออกแบบผิวทางด้วยวิธีมาร์แชลล์ที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 9 จะเห็นว่ามีความสอดคล้องกันกับความสามารถในการรับแรง คือเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนผสมของกากยางเหนียวในแอสฟัลต์ซีเมนต์ จะส่งผลให้การเสียรูปถาวรเพิ่มมากขึ้น เนื่องความสามารถในการรับแรงกระทำที่มากขึ้น โดยมีค่าการเสียรูปที่มากที่สุดที่อัตราส่วนผสม HY7 คือ 9.98 มม. และ 10.92 มม. ในอัตราส่วนผสมการใช้วัสดุเชื่อมประสานร้อยละ 4 และ 5 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งการเสียรูปถาวรจะต้องมีค่าระหว่าง 8 ถึง 16 มิลลิเมตร และจากผลการทดสอบพบว่าวัสดุที่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดคือ HY3 และ HY7 ที่อัตราส่วนผสมการใช้วัสดุเชื่อมประสานร้อยละ 4 และ 5 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 8 ผลการทดสอบการรับแรง



รูปที่ 9 ผลการทดสอบการเสียรูป

4. บทสรุป

จากผลการศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมกากยางเหนียวจากน้ำมันยางนาที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 3 7 และ 15 โดยน้ำหนัก และทำการศึกษาพฤติกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมด้วย

กากยางเหนียวเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่ผสมกากยางเหนียว สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 ค่าเพนิเทรชั่นลดลงเมื่อผสมกากยางเหนียวในแอสฟัลต์ซีเมนต์มากขึ้น เนื่องจากที่สถานะของเหลวแอสฟัลต์ซีเมนต์มีความแข็งมากกว่ากากยางเหนียวซึ่งมีความอ่อนตัว ดังนั้นการเพิ่มปริมาณกากยางเหนียวจะส่งผลให้วัสดุมีความอ่อนตัวมากขึ้น และค่าเพนิเทรชั่นที่เหมาะสมและใกล้เคียงกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด AC 80/100 คือร้อยละ 3 และ 7 โดยน้ำหนัก

4.2 ค่าการดึงยืดของวัสดุผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์มีค่าลดลงเนื่องจากปริมาณกากยางเหนียวเพิ่มมากขึ้น เห็นได้ชัดว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์มีความเหนียวกว่ากากยางเหนียวและมีความสามารถในการดึงยืดสูง ซึ่งในทางตรงกันข้ามกากยางเหนียวมีคุณสมบัติเป็นวัสดุเปราะมีความอ่อนตัวน้อย ดังนั้นในการเพิ่มปริมาณกากยางเหนียวจะส่งผลให้ค่าการดึงยืดลดลงอย่างเห็นได้ชัด จากผลการดึงยืดอัตราการผสมของกากยางเหนียวที่เหมาะสมคือร้อยละ 3 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแอสฟัลต์ซีเมนต์

4.3 จุดอ่อนตัวของวัสดุผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์มีค่าลดลงแปรผกผันกับการเพิ่มอัตราส่วนผสมกากยางเหนียว เนื่องจากกากยางเหนียวมีจุดอ่อนตัวที่อุณหภูมิต่ำ กล่าวคือการเพิ่มปริมาณกากยางเหนียวส่งผลให้วัสดุผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์มีจุดอ่อนตัวต่ำลง ซึ่งในประเทศไทยมีอุณหภูมิสูง การนำแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมร่วมกับกากยางเหนียวอาจจะยังเป็นข้อจำกัดอยู่ อย่างไรก็ตามวัสดุผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีค่าจุดอ่อนตัวใกล้เคียง อยู่ในเกณฑ์และสามารถนำมาใช้งานได้คือ ร้อยละ 3 และ 7 โดยน้ำหนัก

4.4 การทดสอบมาร์แชลล์เพื่อทดสอบความสามารถในการรับแรงและการเสียรูปถาวรของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมด้วยกากยางเหนียว สำหรับการประยุกต์ใช้ในการออกแบบงานผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต จะเห็นได้ว่าความสามารถในการรับแรงของวัสดุผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์มีค่าเพิ่มมากขึ้นที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 3 และ 7 โดยน้ำหนัก และจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมร้อยละ 15 ดังนั้นอัตราส่วนผสมการใช้วัสดุเชื่อมประสานต่อมวลรวมที่ร้อยละ 4 และ 5 โดยน้ำหนัก ที่เหมาะสมในการออกแบบผิวจราจรคือการเพิ่มปริมาณกากยางเหนียวที่ร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก (HY7) จะมีค่าความสามารถในการรับแรงสูงที่สุดและมากกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ นอกจากนี้ผลการทดสอบแสดงการเสียรูปถาวรของก้อนตัวอย่าง จะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกับความสามารถในการรับแรง นั่นคือการเพิ่มปริมาณกากยางเหนียวร้อยละ 7 โดยน้ำหนักจะเกิดการเสียรูปถาวรมากที่สุด อย่างไรก็ตามการเสียรูปมากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายของผิวทาง แต่หากผิวทางเกิดการเสียรูปที่น้อยเกินไปจะส่งผลให้ผิวทางแข็งและไม่มีความยืดหยุ่น ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมกับการออกแบบผิวทางแบบยืดหยุ่น ตามมาตรฐาน ASTM และผลจากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณกากยางเหนียวจากน้ำมันยางนาในแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุด คือ ร้อยละ 3 และ 7 โดยน้ำหนัก

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 การศึกษาในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เก่า เมื่อทดสอบค่าเพนิเทรชั่น สามารถระบุเป็นเกรด AC 80/100 ซึ่งอาจจะมีข้อจำกัดและไม่เหมาะสมกับการใช้งานในภูมิประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศร้อน

5.2 ควรเลือกใช้วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรดอื่น ๆ มาศึกษาเปรียบเทียบเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น และสามารถอธิบายพฤติกรรมของวัสดุกากยางเหนียวที่จะนำมาใช้ทดแทนได้มากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หจก. เคเอวิศวกรรมและการเกษตร ผู้สนับสนุนแอสฟัลต์ ศูนย์เรียนรู้ยางนาบูรณาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ผู้สนับสนุนกากยางเหนียวจากน้ำมันยางนา หจก. ทวีวัฒน์ วัสดุก่อสร้าง ผู้สนับสนุนมวลรวม ศูนย์วิจัยโครงสร้างมูลฐาน อย่างยั่งยืน สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ผู้สนับสนุนสถานที่ทำการทดสอบในครั้งนี้ และขอบคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่สาขา รวมถึงผู้ร่วมวิจัยทุกท่าน ที่ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2561). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับงานทาง

[2] Chaiyalap, T. (2016). A study of asphalt concrete properties using asphalt cement with carious proportion of natural rubber. Master degree Dissertation, Suranaree University of Technology, Thailand.

[3] Henri, S. (2019). Effect of latex to minimize the use of asphalt concrete wearing course. *Material science forum,* 961, pp.39-44.

[4] Jitsangiam, P., Nutsit, K., Phenrat, T., Kumlai, S., and Pra-ai, S. (2021). An examination of natural rubber modified asphalt: Effects of rubber latex contents based on macro- and micro-observation analyses. *Construction and Building Materials*, 289, 123158.

[5] Homhoul, P. (2017). Improving properties of asphalt concrete with natural rubber latex. Master degree Dissertation, Prince of Songkla University, Thailand.

[6] พีระพัฒน์ สุเมผา, บุญกิจ อุ่นพิกุล และ เจริญชัย ฤทธิรุทธ (2564). การศึกษพฤติกรรมทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงด้วย

เกล็ดยางพาราธรรมชาติและน้ำยางพาราธรรมชาติ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26*, 23-27 มิถุนายน 2564.

[7] อังคณา พันธ์หล่อ และ สมศักดิ์ เอื้ออัชฌาสัย (2560). การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุแอสฟัลต์ผสมยางในรถจักรยานยนต์ที่ใช้แล้ว. *วิศวกรรมศาสตร์ราชมงคลธัญบุรี*, ปีที่ 15, ฉบับที่ 2, หน้า 1-6.

[8] Poovaneshvaran, S., Hasan, M., and Jaya. R. (2020). Impacts of recycled crumb rubber powder and natural rubber latex on the modified asphalt rheological behaviors, bonding, and resistance to shear. *Construction and Building Materials*, 234, 117357.

[9] Wan Azahar, W., Jaya, R., Hainin, M., Bujang, M., and Ngadi, N. (2017). Mechanical performance of asphaltic concrete incorporating untreated and treated waste cooking oil. *Construction and Building Materials*, 150, pp. 653-663.

[10] โชติชนิต เทียนไชย และ พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม (2565). การพัฒนาการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์ชนิดผสมร้อนที่ถูกผสมด้วยขยะพลาสติกบนพื้นฐานการออกแบบส่วนผสมมาร์แชลล์และวิธีผสมแบบแห้ง. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27*, 24-26 สิงหาคม 2565.

[11] Bai, M. (2017). Investigation of low-temperature properties of recycling of aged SBS modified asphalt binder. *Construction and Building Materials*, 150, pp.766-773.7

[12] Palit, S. K., Sudhakar Reddy, K., and Pandey, B. B. (2004). Laboratory evaluation of crumb rubber modified asphalt mixes. *Journal of materials in civil engineering, ASCE,* 16, pp.45-53.

[13] นิภาพร นาโสก, นาถธิดา วีระปรียากูร และ สมพร เกษแก้ว (2558). การศึกษาคุณสมบัติของยางนาเพื่อประยุกต์ใช้ด้านเวชสำอาง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[14] สุพิชญา ลดาวัลย์, นาถธิดา วีระปรียากูร, เพลินทิพย์ ภูทองกิ่ง และ แคทรียา สุทธานุช (2562). ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโว