คุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

The properties of asphalt cement with different proportions of natural rubber for quality improvement

ก้องรัฐ นกแก้ว[1] วรมิญช์ พันธุรัตน์[1] วชิรกรณ์ เสนาวัง[1,*] ศุภชัย คำแปร[2] และศตวรรษ หฤหรรษพงศ์[3]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม
[2]นักวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม
[3]สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย
**Corresponding author; E-mail address: nanoon45@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มวัสดุผสมเพิ่มเข้าไปในแอสฟัลต์คอนกรีต คือ น้ำยางพาราธรรมชาติเพื่อปรับปรุงสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต การใช้ยางพาราธรรมชาติช่วยส่งเสริมการใช้วัตถุดิบยางพาราธรรมชาติภายในประเทศเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นแนวทางเพิ่มการใช้ยางพาราตามนโยบายของรัฐบาล โดยทั่วไปคุณสมบัติของยางพาราธรรมชาติสามารถช่วยปรับปรุงให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้มีความยืดหยุ่นและมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ทั้งยังทำให้อายุการใช้งานนานขึ้นนอกจากนี้ยังใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ในส่วนผสมน้อยลง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 เป็นวัสดุเชื่อมประสานที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ โดยใช้สัดส่วนยางพาราที่แตกต่างกันซึ่งมีการเติมยางพาราธรรมชาติร้อยละ 3, 5, 7, 9 และ 11 โดยน้ำหนัก ทดสอบหาค่าเพนิเทรชัน จุดอ่อนตัว จุดวาบไฟและจุดติดไฟ และการยืดดึง ผลการทดสอบพบว่าเมื่อปริมาณน้ำยางธรรมชาติในส่วนผสมเพิ่มขึ้น ค่าเพนิเทรชันมีแนวโน้มลดลง อุณหภูมิจุดอ่อนตัวเพิ่มขึ้น อุณหภูมิจุดวาบไฟและจุดติดไฟน้อยลง และค่าการดึงยืดลดลง

คำสำคัญ: แอสฟัลต์ซีเมนต์, น้ำยางพาราธรรมชาติ

Abstract

This research present engineering properties of asphaltic concrete improved with natural rubber, natural rubber latex to improve the properties of asphalt concrete. The use of natural rubber latex helps to promote the use of natural rubber raw materials in the country, which is a way to increase the use of para rubber according to the government's policy. In general, natural rubber latex properties can help improve asphalt concrete pavement flexibility and strength. It also increases the service life and uses less asphalt cement in the mixture. The objective of this research was to study the engineering behavior of asphalt cement AC 60/70 to improved binder material with natural rubber latex. The different proportions of natural rubber were used with the addition of 3, 5, 7, 9 and 11 percent natural rubber by weight. The penetration test, softening point test, flash point and ignition point test and Ductility test were determined. The results showed that when the amount of natural rubber latex in the mixture increased will make the penetration lower. The value of the softening point increases, less warp point and ignition point and ductility decreases.

Keywords: Asphalt cement, Natural rubber latex

1. คำนำ

ถนนเป็นส่วนสำคัญในการขนส่งทางบกและเป็นปัจจัยของการพัฒนาประเทศถนนจึงจำเป็นที่จะต้องมีความสามารถเพียงพอที่จะรองรับการขยายตัวของเมืองทั้งด้านเศรษฐกิจ การคมนาคม และการขยายพื้นที่ของเขตเมืองโดยถนนในประเทศไทยมีความยาวรวมทั้งสิ้น 67,547 กิโลเมตร มากกว่าร้อยละ 90 เป็นถนนลาดยาง [1] ในการใช้งานถนนนั้นย่อมก่อให้เกิดความเสียหายอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ไม่ว่าจะเป็นความเสียหายตามอายุ การใช้งาน หรือภัยพิบัติต่าง ๆ ซึ่งการซ่อมแซมปรับปรุงถนนนอกจากจะต้องการงบประมาณ ในการดำเนินการที่สูงแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อการคมนาคมอีกด้วย เป็นเหตุให้เกิดการชะลอตัวของการพัฒนา และกระทบถึงคุณภาพ ชีวิตของประชาชน ดังนั้นในมุมมองของการพัฒนาวัสดุและระบบการขนส่งอย่างยั่งยืนนั้นจำเป็นที่จะต้องพัฒนาหาทางเลือกอื่นเพื่อลดสัดส่วนการใช้วัสดุบิทูเมนที่กำลังจะหมดลงซึ่งเป็นผลผลิตจากการกลั่นน้ำมันดิบที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของแอสฟัลต์คอนกรีต ในงานวิจัยที่ผ่านมาของกรมทางหลวงชนบทได้มีการนำน้ำยางพาราเข้ามาเป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อลดอัตราส่วนการใช้วัสดุบิทูเมนในอัตราส่วนที่เหมาะสมและเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของ ถนนทำให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสำหรับการ

นำมาใช้ในงานปูผิวถนน [2], [3] สำหรับงานวิจัยที่ศึกษาคุณสมบัติแอสฟัลต์ที่ผสมนำยางพาราแนะนำให้ใช้ที่ร้อยละ 5 [4]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 ที่มีส่วนผสมของพาราแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติร้อยละ 3, 5, 7, 9 และ 11 ตามลำดับ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณยางพาราที่เพิ่มขึ้นต่อค่าเพนิเทรชัน ค่าจุดอ่อนตัว ค่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟ และค่าการยืดดึงโดยเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 และข้อกำหนดของกรมทางหลวง โดยผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำน้ำยางพาราธรรมชาติที่หาได้ทั่วไปและมีราคาต่ำมาใช้ผสมกับแอสฟัลต์เพื่อลดการใช้แอสฟัลต์สำหรับงานทาง การนำยางพาราธรรมชาติมาเป็นสารผสมเพิ่มให้กับวัสดุแอสฟัลต์สำหรับใช้ในงานทางช่วยเพิ่มปริมาณการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศ จะเป็นการกระตุ้นราคาน้ำยางพาราธรรมชาติทางอ้อม

2. วัสดุและวิธีการ

2.1 วัสดุ

2.2.1 แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 (AC60/70)

งานวิจัยนี้ทำในประเทศไทย ทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ ชนิด AC60/70 หาได้ง่ายและมีใช้กันทั่วไปจึงได้นำ AC60/70 มาพัฒนาต่อ ซึ่งโดยทั่วไปมีสีน้ำตาลปนดำเป็นสารกึ่งของแข็งและของเหลว มีความเหนียว สถานะเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อน ก่อนจะนำมาใช้ต้องผ่านความร้อนก่อน [5]

2.2.2 น้ำยางธรรมชาติ (NR)

น้ำยางพาราที่ใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มในงานวิจัยนี้เป็นน้ำยางพาราเข้มข้นที่จะนำมาจากตัวแทนของยางพาราทั่วไปที่หาได้ในประเทศไทย

2.2 วิธีการเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างเป็นการผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์กับน้ำยางพารา ซึ่งอัตราส่วนผสมที่ใช้เป็นไปตามตารางที่ 1 และมีขั้นตอนในการผสมดังต่อไปนี้

2.2.1. ชั่งน้ำหนักแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพาราโดยใช้อัตราส่วนตามที่ได้ออกแบบไว้ลงในหม้อผสม โดยชั่งน้ำหนักเตรียมไว้ก่อนนำลงผสม

2.2.2. นำแอสฟัลต์ AC60/70 มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เมื่อแอสฟัลต์เริ่มหลอมละลายกลายเป็นของเหลวแล้วจึงนำน้ำยางพารามาผสมโดยค่อยๆเติมลงไปที่ละนิดแล้วค่อยๆกวนส่วนผสมให้เข้ากันเพื่อลดการเกิดฟองอากาศ

2.2.3. เมื่อทำการผสมวัสดุจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วให้นำวัสดุตัวอย่างพักไว้ให้เย็นตัวลง เพื่อจะนำไปใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆต่อไป

ตารางที่ 1 ประเภทอัตราส่วนผสมของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์

ลำดับ	ประเภท	แอสฟัลต์ซีเมนต์	น้ำยางพารา
1	AC60/70	100	-
2	ACNR3	97	3
3	ACNR5	95	5
4	ACNR7	93	7
5	ACNR9	91	9
6	ACNR11	89	11

หมายเหตุ: หน่วยน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ, ACNR คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับน้ำยางพาราอัตราส่วนโดยน้ำหนักแอสฟัลต์ AC60/70 คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์

2.3 วิธีการทดสอบ

2.3.1 การทดสอบเพนิเทรชันของวัสดุบิทูเมน ตามมาตรฐาน ASTM D 5-94 เพื่อทดสอบความแข็งของวัสดุแอสฟัลต์ที่อยู่ในสภาพกึ่งของแข็ง และสภาพแข็ง

2.3.2 การทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูเมน โดยใช้เครื่องวงแหวนกับลูกปืน ตามมาตรฐาน ASTM D 36-86 เพื่อหาจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูเมนในช่วง 30-157 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องวงแหวนและลูกปืนแช่ในน้ำกลั่น

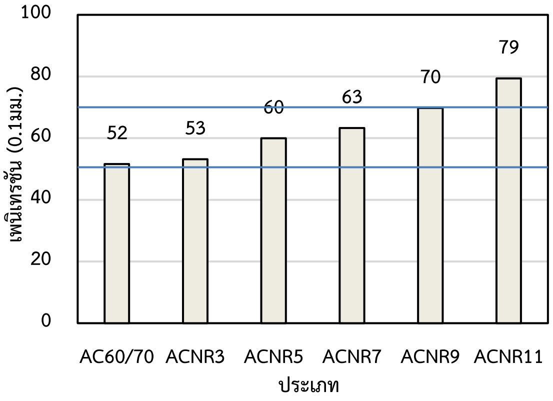
2.3.3 การทดสอบจุดวาบไฟและจุดติดไฟ โดยถ้วยเปิดคลีฟแลนด์ ตามมาตรฐาน ASTM D 92-90 เพื่อหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมต่างๆ ยกเว้นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้ถ้วยเปิดคลีฟแลนด์

2.3.4 การทดสอบความยืดดึงของวัสดุบิทูเมน ตามมาตรฐาน ASTM D 113-86 เพื่อหาความยืดดึงของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่อุณหภูมิปกติ 25 องศาเซลเซียส โดยอัตราเร็ว 5 เซนติเมตรต่อนาที

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

3.1 การทดสอบเพนิเทรชันของวัสดุบิทูเมน

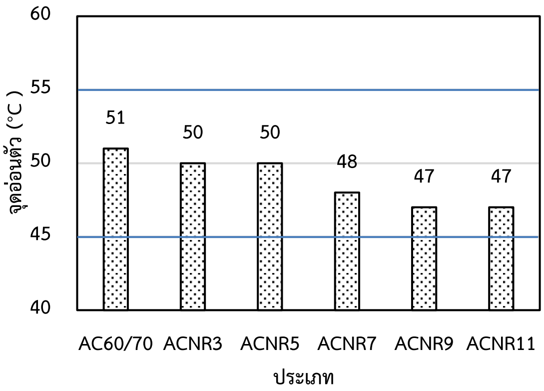
การทดสอบความแข็งของวัสดุแอสฟัลต์ที่อยู่ในสภาพกึ่งของแข็ง และสภาพแข็ง ค่าเพนิเทรชันที่สูงกว่าบ่งบอกถึงความข้นเหลวที่อ่อนกว่าและเป็นการแบ่งเกรดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ จากรูปที่ 1 ผลการทดสอบเพนิเทรชัน พบว่าเมื่อปริมาณยางพารามากขึ้นร้อยละ 3, 5, 7, 9 และ 11 จะทำให้ค่าเพนิเทรชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 53, 60, 63, 70 และ 79 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมยางพาราซึ่งมีค่า 52 มิลลิเมตร ซึ่งยังอยู่ในข้อกำหนดที่ ทล.ก. 409/2556 ของกรมทางหลวงที่กำหนดให้ค่าเพนิเทรชั้นอยู่ระหว่าง 50-70 มิลลิเมตร ยกเว้นปริมาณยางพาราที่ร้อยละ 11 มีค่าเพรนิเทรชันเกินกว่ามาตรฐานกรมทางหลวง



รูปที่ 1 ผลการทดสอบเพนิเทรชัน

3.2 การทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูเมน

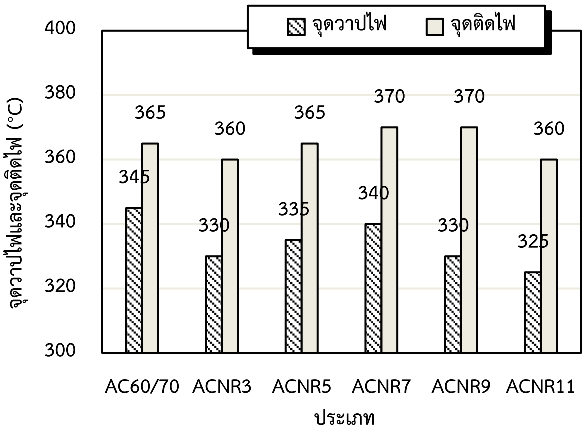
วัสดุบิทูเมนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะค่อยๆอ่อนตัวและมีความหนืดลดลง จากรูปที่ 2 ผลการทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูเมน พบว่าปริมาณยางพาราที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 3, 5, 7, 9 และ 11 ค่าอุณหภูมิจุดอ่อนตัวมีค่าลดลง แอสฟัลต์ที่ไม่ผสมยางพารา (AC60/70) มีค่าอุณหภูมิจุดอ่อนตัวที่ 51 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์ที่ผสมยางพาราร้อยละ 3 และ 5 มีค่าอุณหภูมิจุดอ่อนตัวเท่ากับ 50 องศาเซลเซียสเท่ากันและแอสฟัลต์ที่ผสมยางพาราร้อยละ 7 มีค่าอุณหภูมิจุดอ่อนตัวเท่ากับ 48 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์ที่ผสมยางพาราร้อยละ 9 และ 11 มีค่าอุณหภูมิจุดอ่อนตัวต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 47 องศาเซลเซียส จากข้อกำหนดของกรมทางหลวง ทล.ก. 409/2556 กำหนดให้ค่าอุณหภูมิจุดอ่อนตัวไม่น้อยกว่า 45-55 องศาเซลเซียสซึ่งผ่านมาตรฐานทุกอัตราส่วนผสม



รูปที่ 2 ผลการทดสอบจุดอ่อนตัว

3.3 การทดสอบจุดวาบไฟและจุดติดไฟ

แอสฟัลต์เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงพอจนมีไอและติดไฟเมื่อได้สัมผัสกับประกายไฟหรือเปลวไฟ จุดวาบไฟเป็นจุดที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิที่ให้ความร้อนกับแอสฟัลต์ได้อย่างปลอดภัยโดยไม่ลุกติดไฟ จากรูปที่ 3 ผลการทดสอบจุดวาบไฟ พบว่าเมื่อปริมาณยางพาราเพิ่มขึ้นร้อยละ 3, 5 และ 7 จะทำให้ค่าจุดวาบไฟมีค่าเพิ่มขึ้นตามโดยมีอุณหภูมิเท่ากับ 330, 335 และ 340 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อปริมาณยางพาราเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 9 และร้อยละ 11 ค่าอุณหภูมิของจุดวาบไฟมีค่าลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 330 และ 325 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมยางพารา (AC60/70) ที่มีค่าจุดวาบไฟสูงที่สุดเท่ากับ 345 องศาเซลเซียส ข้อกำหนดของกรมทางลวง (ทล.ก. 409/2556) กำหนดให้ค่าจุดวาบไฟไม่น้อยกว่า 220 องศาเซลเซียส

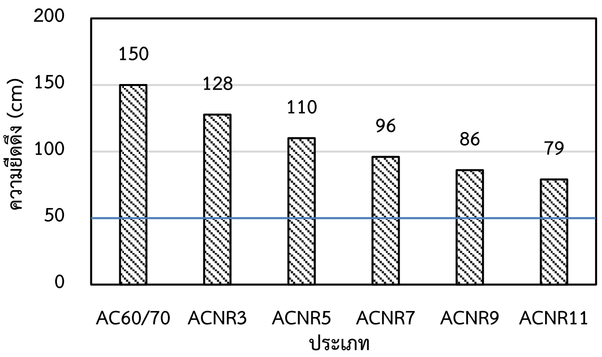


รูปที่ 3 ผลการทดสอบจุดวาบไฟและจุดติดไฟ

จุดติดไฟเป็นจุดที่บ่งบอกถึงการให้ความร้อนแอสฟัลต์เมื่อมีเปลวไฟมาสัมผัสใกล้ๆ จุดที่ลุกไหม้ เรียกว่า จุดติดไฟ จากรูปที่ 3 พบว่าเมื่อปริมาณยางพาราเพิ่มขึ้นร้อยละ 3, 5, 7 และ 9 อุณหภูมิที่จุดติดไฟมีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 360, 365, 370 และ 370 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แอสฟัลต์ที่ไม่ผสมยางพารามีจุดติดไฟเท่ากับแอสฟัลต์ที่ผสมยางพาราร้อยละ 5 หรือมีอุณหภูมิเท่ากับ 365 องศาเซลเซียส เมื่อผสมยางพาราร้อยละ 11 ค่าอุณหภูมิที่จุดติดไฟมีค่าลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 360 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของปรเมษ หอมหวนและคณะ [6] ที่พบว่าค่าอุณหภูมิที่จุดติดไฟมีแนวโน้มลดลงเมื่อ ปริมาณร้อยละของยางพารางในส่วนผมเพิ่มขึ้น

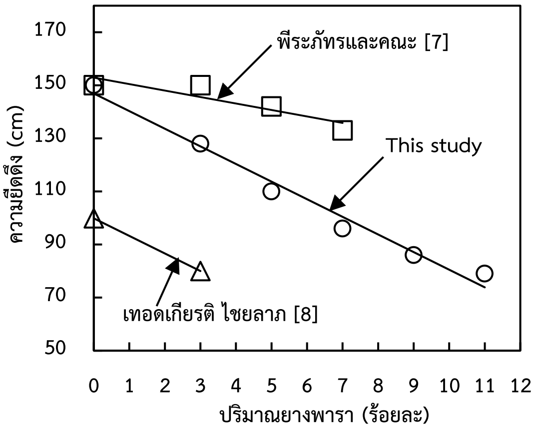
3.4 ผลการทดสอบความยืดดึงของวัสดุบิทูเมน

การยืดตัวของแอสฟัลต์แสดงถึงความสามารถที่จะต้านทานการเปลี่ยนสภาพของวัสดุจากพลาสติกไปเป็นของแข็งที่มีความกระด้าง จากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อปริมาณยางพาราเพิ่มขึ้นร้อยละ 3, 5, 7, 9 และ 11 ทำให้ผลการทดสอบการยืดตัวลดลงที่ 128, 110, 96, 86 และ 79 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมยางพารามีค่าความยืดดึงมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 150 เซนติเมตร จากเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 50 เซนติเมตร จากผลการทดสอบพบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกอัตราส่วนผสม



รูปที่ 4 ผลการทดสอบความยืดดึง

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการยืดดึงและร้อยละของปริมาณยางพาราพบว่าการเพิ่มร้อยละของปริมาณยางพาราที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการยืดดึงลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพีระภัทร และคณะ [7] และ เทอดเกียรติ ไชยลาภ [8]



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการยืดดึงและร้อยละของปริมาณยางพารา

4. บทสรุป

จากการศึกษาพฤติกรรมทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติพบว่า

1. เมื่อปริมาณน้ำยางพาราที่เพิ่มขึ้น ค่าเพนิเทรชันเพิ่มขึ้นตามปริมาณร้อยละของน้ำยางพารา แอสฟัลต์ที่ไม่ผสมยางพารามีค่าเพนิเทรชันต่ำกว่าแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพน้ำยางพาราธรรมชาติ

2. เมื่อร้อยละของปริมาณน้ำยางพาราที่ผสมเพิ่มขึ้นอุณหภูมิจุดอ่อนตัวของแอสฟัลต์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมยางพารา

3. ปริมาณน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 7 อุณหภูมิจุดวาปไฟของแอสฟัลต์เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณยางพาราเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 9 และ 11 อุณหภูมิจุดวาปไฟมีค่าลดลง ซึ่งน้อยกว่าแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมยางพาราทุกอัตราส่วน ปริมาณน้ำยางพาราที่เพิ่มขึ้นทำให้จุดติดไฟของแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำยางพารา เมื่อปริมาณยางพาราร้อยละ 7 และ 9 มีอุณภูมิจุดติดไฟสูงที่สุดและปริมาณน้ำยางพาราที่ร้อยละ 3 และ 11 มีอุณภูมิจุดติดไฟต่ำที่สุด

4. ร้อยละของปริมาณน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นค่าการยืดดึงมีค่าลดลง ทั้งนี้ทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบซึ่งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 50 เซนติเมตร

5. ข้อเสนอแนะ

ควรมีการตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำยางพาราในแต่ละพื้นที่ก่อนนำไปใช้งานทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนผู้จำหน่ายที่ต่างยี่ห้อหรือแหล่งที่มาของน้ำยางพารา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนมที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมการทาง และขอขอบคุณผู้ร่วมทำงานวิจัยและอาจารย์ประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมการทาง สาขาวิศวกรรมโยธา ที่ได้ให้การสนับสนุนจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม (2558). สถิติคมนาคม เรื่องความยาวถนน.

[2] สุชาวรรณ ชูณรงค์, วีระเกษตร สวนผกา และ วัชรินทร์ วิทยกุล. (2561). การปรับปรุงยางมะตอยผสมเย็นสำเร็จรูปชนิดคาร์บอนผสมยางพาราเพื่อใช้เป็นผิวทางสำหรับปริมาณจราจรสูง. *วิศวกรรมสาร มก.*, ปีที่ 31, ฉบับที่ 103.

[3] สุทธิชัย เจริญกิจ, กิตติศักดิ์สิริพลวัฒน์, ปิยะชาย ชาญสุข และ สราวุธ จริตงาม (2564). การศึกษาการใช้พลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตและพลาสติกโพลโพรพิลีนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 26*, วันที่ 23-25 มิถุนายน, (การประชุมรูปแบบออนไลน์).

[4] ณพรัตน์ วิชิตชลชัย และ อดุลย์ ณ.วิเชียร (2554). คำแนะนำการใช้ยางพาราชนิดน้ำยางข้นผสมยางมะตอยในการราดถนน. *วารสารยางพารา*, สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 7 หน้า.

[5] นิรชร พึ่งแดง. (2550). การทดสอบวัสดุการทาง (Highway Materials Testing). ISBN 978-974-443-239-1.

[6] ปรเมษฐ หอมหวน, สราวุท จริตงาม และ โอกาส สมใจนึก (2560). การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ. Transportation for a Better life: Mobility and Road Safety Managements. *Atrans annual conference proceeding of young researcher's forum*, 18 August, Bangkok, Thailand.

[7] พีระภัทร สุเมผา, บุญกิจ อุ่นพิกุล และ เจริญชัย ฤทธิรุทธ (2564). การศึกษาพฤติกรรมทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเกล็ดยางพาราธรรมชาติและน้ำยางพาราธรรมชาติ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 26*, วันที่ 23-25 มิถุนายน, (การประชุมรูปแบบออนไลน์).

[8] เทอดเกียรติ ไชยลาภ (2559). การศึกษาคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราโดยใช้สัดส่วนยางพาราที่แตกต่างกัน. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.