

การศึกษาพฤติกรรมทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเกล็ดยางพาราธรรมชาติและน้ำยางพาราธรรมชาติ THE STUDY OF ENGINEERING THEORY OF ASPHALT CEMENT IMPROVED QUALITY WITH NATURAL RUBBER FLAKE AND NATURAL LATEX

พีระภัทร สุเมธ¹ บุญกิจ อุ่นพิกุล^{2*} และ เจริญชัย ฤทธิฤทธิ์^{3*}

¹ นักศึกษาปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

^{2,3} อาจารย์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, วิทยาเขตขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น, ประเทศไทย

*Corresponding author address: Peerapat.su@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบการขนส่งเป็นสิ่งสำคัญต่อการสร้างความเจริญเติบโตของประเทศ ซึ่งระบบขนส่งที่เข้าถึงได้ง่ายและใช้งานกันอย่างแพร่หลายก็คือระบบการขนส่งทางบก โดยการใช้รถใช้ถนนในการขนส่ง เมื่อการขนส่งเพิ่มขึ้นทำให้มีความต้องการใช้รถใช้ถนนมากขึ้น มีปริมาณการจราจรสูงขึ้น ทำให้ถนนเกิดการชำรุดตามสภาพการใช้งาน จนต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงรักษาสูงขึ้น ซึ่งการใช้ยางพาราธรรมชาติที่เป็นทรัพยากรภายในประเทศมาเป็นสารผสมเพิ่ม เพื่อใช้ในงานทางก็เป็นอีกทางหนึ่งที่จะพัฒนาผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต และช่วยส่งเสริมการใช้ยางพาราธรรมชาติภายในประเทศให้มากขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบยางพาราธรรมชาติภายในประเทศ เนื่องจากยางพาราธรรมชาติสามารถช่วยปรับปรุงให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีความยืดหยุ่นและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ทำให้อายุการใช้งานนานขึ้น อีกทั้งยังใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์น้อยลง ทำให้ช่วยลดต้นทุนในการก่อสร้างและการบำรุงรักษาในระยะยาวให้กับประเทศ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุเชื่อมประสานที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเกล็ดยางพาราธรรมชาติและน้ำยางพาราธรรมชาติ โดยกำหนดอัตราส่วน 100:0, 97:3, 95:5 และ 93:7 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการทดสอบ 1) หาค่าเพนิเทรชัน 2) หาค่าจุดอ่อนตัว 3) หาค่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟ และ 4) ความยืดดึง จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อปริมาณน้ำยางและเกล็ดยางเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าเพนิเทรชันลดลง ค่าจุดอ่อนตัวเพิ่มขึ้น ค่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟน้อยลง และค่าความยืดดึงลดลง

คำสำคัญ: แอสฟัลต์ซีเมนต์, เกล็ดยางพาราธรรมชาติ, น้ำยางพาราธรรมชาติ

Abstract

The transportation system is essential to the growth of the country. Which is easy to transport and use as it is land transport by using the car to use the road for transportation. As transport increases, there is a growing demand for road vehicles. There is a higher traffic volume. This causes road damage according to usage conditions and has to cost higher repairs and maintenance. Which uses natural resources in the country as an additive for use in pavement, it is another option to develop asphalt concrete pavement. And to help promote the use of natural rubber in the country to increase the value of natural rubber raw materials in the country. This is because natural rubber can improve the flexibility and strength of asphalt concrete pavement. Making the service life longer. It also uses less asphalt cement, helping to reduce construction and maintenance costs in the long term for the country. Therefore, it is imperative to study the engineering behavior of asphalt cement, a quality-improving binder with natural rubber and natural latex flakes. The aspect ratio is 100: 0,97: 3,95: 5 and 93: 7 by weight. Then test.1) penetration test ,2) softening point test, 3) Flash points test and fire points and 4) Ductility test. From the test results, it was found that when the amount of latex and rubber bits increased Will make the penetration lower. The value of the softening point increases. Less warp point and ignition point and the elongation decreases.

Keywords: Asphalt cement, natural rubber flake, natural rubber latex

1. บทนำ

ถนนที่มีผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทยมีจำนวนมากกว่ถนนคอนกรีตเพราะมีการยืดหยุ่นที่ดีและราคาถูกกว่าถนนคอนกรีตแต่มีข้อเสียเรื่องความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

คือเมื่ออุณหภูมิสูงจะอ่อนตัวและทำให้แตกที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นกว่าที่คาดการณ์ไว้ทำให้ถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตได้รับความเสียหายเร็วกว่าปกติ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงรักษาดูแลสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้การจะแก้ไขปัญหาผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจึงจำเป็นต้องมี

การปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ซึ่งเป็นตัวเชื่อมประสาน (Binder) ให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยมีสมบัติเพิ่มความหนืด (Viscosity) คุณสมบัติต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Temperature susceptibility) เพิ่มจุดอ่อนตัว (Softening point) เพิ่มความยืดหยุ่น (Elasticity) เพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion) เพิ่ม Aging Resistance [1]

ในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์เพื่อให้มีสมบัติดังกล่าวด้วยวิธีการต่างๆ มากมายวิธีหนึ่งที่น่าสนใจคือ การใช้พอลิเมอร์ (Polymers) ผสมลงในแอสฟัลต์ ซึ่งเรียกว่า “Polymer Modification Asphalt” หรือที่เรียกชื่อย่อว่า PMA และนอกจาก PMA แล้ว ในการปรับปรุงสมบัติแอสฟัลต์ยังสามารถใส่สารผสมเพิ่มต่างๆ ลงไปได้อีกเช่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติคือน้ำยางพาราโดยอาศัยสมบัติบางประการที่เป็นข้อดีของยางธรรมชาติเช่น ความคงตัวสูง (Stability) ความยืดหยุ่นดี (Elasticity) และทนความล้าดี (Fatigue resistance) มาเป็นตัวเสริมสมบัติของแอสฟัลต์ จากการศึกษาคุณสมบัติแอสฟัลต์ผสมยางพาราโดยใช้เปอร์เซ็นต์การผสมที่ 5 % ถึง 9 % ผลการทดสอบพบว่าแอสฟัลต์ผสมยางพารา เปอร์เซ็นต์การผสมที่เหมาะสมคือ 5 % [1] และยังพบอีกว่ามีค่าเสถียรภาพ (Stability) และการต้านทานการเกิดร่องล้อสูงกว่าถนนที่ลาดด้วยแอสฟัลต์คอนกรีตปกติและยังพบอีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารามีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดา [1], [2]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเกล็ดยางพาราธรรมชาติ(เกล็ดยาง) และน้ำยางพาราธรรมชาติ(น้ำยาง) โดยกำหนดอัตราส่วน 100:0, 97:3, 95:5 และ 93:7 โดยน้ำหนัก ซึ่งทำการทดสอบหาค่าเพนิเทรชัน หาค่าจุดอ่อนตัว หาค่าจุดวาบไฟ และหาค่าความยืดดึง ผลการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเกล็ดยางพาราธรรมชาติกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ และแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 นอกจากการนำยางพาราธรรมชาติมาเป็นสารผสมเพิ่มให้กับวัสดุแอสฟัลต์เพื่อใช้ในทางแล้ว ยังช่วยในการเพิ่มปริมาณการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้นรวมทั้งส่งเสริมแนวทางการแก้ไขในระยะยาวให้กับรัฐบาล

2. วัสดุและวิธีการ

วัสดุและวิธีการได้แบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

2.1. วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยมี 3 ชนิดคือ

2.1.1. แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 (AC60/70)

2.1.2. น้ำยางธรรมชาติ (NR)

2.1.3. เกล็ดยางธรรมชาติ (FR) ซึ่งได้เปลี่ยนสภาพมาจากน้ำยางธรรมชาติโดยทำการหยดด้วยเครื่องหยดเกล็ดยางจะได้เกล็ดยางที่เป็นแผ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4-0.6 มม.หนา 0.2-0.4 มม. (ดังรูปที่ 1)



รูปที่ 1 เกล็ดยางที่ได้จากการหยดนํายางพารา

2.2. การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างเป็นการผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์กับน้ำยางหรือเกล็ดยาง ซึ่งอัตราส่วนผสมที่ใช้เป็นไปตามตารางที่ 1 และมีขั้นตอนในการผสมดังต่อไปนี้

2.2.1. ชั่งน้ำหนักแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางหรือเกล็ดยางโดยใช้อัตราส่วนตามที่ได้ออกแบบไว้ลงในหม้อผสม

2.2.2. ต้มให้ความร้อนกับหม้อผสมจนแอสฟัลต์มีอุณหภูมิถึง 160 องศาเซลเซียส แล้วทำการเปิดเครื่องผสมวัสดุ (ดังรูปที่ 2)

2.2.3. ทำการผสมวัสดุทั้งสองเข้าด้วยกันโดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 160-190 องศาเซลเซียสที่มีความเร็ว 550-600 รอบต่อนาที และทำการผสมเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนกระทั่งวัสดุเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (ดังรูปที่ 3)

ตารางที่ 1 ประเภทอัตราส่วนผสมของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์

ลำดับ	ประเภท	แอสฟัลต์ซีเมนต์	น้ำยาง	เกล็ดยาง
1	AC60/70	100	-	-
2	ACFR3	97	3	-
3	ACFR5	95	5	-
4	ACFR7	93	7	-
5	ACNR3	97	-	3
6	ACNR5	95	-	5
7	ACNR7	93	-	7

หมายเหตุ: หน่วยน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ, ACFR คือ แอสฟัลต์

ซีเมนต์ที่ผสมกับเกล็ดยาง, ACNR คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่กับน้ำยาง



รูปที่ 2 การต้มวัสดุแอสฟัลต์กับ (ก) น้ำยาง (ข) เกล็ดยาง



รูปที่ 3 ความเข้ากันหลักทำการผสมเสร็จ

2.3. วิธีการทดสอบ

การทดสอบที่ใช้ในบทความมี ดังต่อไปนี้

- 2.3.1. การทดสอบเพนิเทรชันของวัสดุบิทูเมน ตามมาตรฐาน ASTM D 5-94 เพื่อทดสอบความแข็งของวัสดุแอสฟัลต์ที่อยู่ในสภาพกึ่งของแข็ง และสภาพแข็ง
- 2.3.2. การทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูเมน โดยใช้เครื่องวงแหวนกับลูกปืน ตามมาตรฐาน ASTM D 36-86 เพื่อหาจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูเมน ในช่วง 30-157 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องวงแหวนและลูกปืน แช่น้ำกลั่น
- 2.3.3. การทดสอบจุดวาบไฟและจุดติดไฟ โดยถ้วยเปิดคลิฟแลนด์ ตามมาตรฐาน ASTM D 92-90 เพื่อหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมต่างๆ ยกเว้นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้ถ้วยเปิดคลิฟแลนด์
- 2.3.4. การทดสอบความยืดดึงของวัสดุบิทูเมน ตามมาตรฐาน ASTM D 113-86 เพื่อหาความยืดดึงของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่อุณหภูมิปกติ 25 องศาเซลเซียส โดยอัตราเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาที

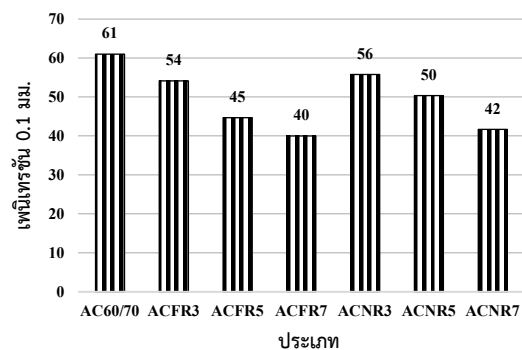
3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

จากการทดสอบตัวอย่างวัสดุทั้งหมด 3 ตัวอย่าง แล้วนำมาหา

ค่าเฉลี่ย ได้ผลดังต่อไปนี้

3.1. การทดสอบเพนิเทรชันของวัสดุบิทูเมน

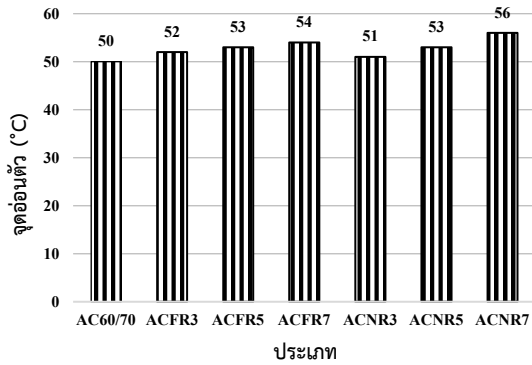
จากรูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบเพนิเทรชัน พบว่าเมื่อปริมาณเกล็ดยางมากขึ้นร้อยละ 3, 5 และ 7 จะทำให้ค่าเพนิเทรชันลดลง 54, 45 และ 40 ตามลำดับ และลดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำยางร้อยละ 3, 5 และ 7 จะทำให้ค่าเพนิเทรชันลดลง 56, 50 และ 42 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงสภาพความแข็งที่เพิ่มขึ้นของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับน้ำยางและเกล็ดยางร้อยละ 3, 5 และ 7 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัย [4]–[6] และตามข้อกำหนดที่ ทล.ก. 409/2556 ของกรมทางหลวง ให้ค่าเพนิเทรชันอยู่ระหว่าง 50-70



รูปที่ 4 ผลการทดสอบเพนิเทรชัน

3.2. การทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูเมน

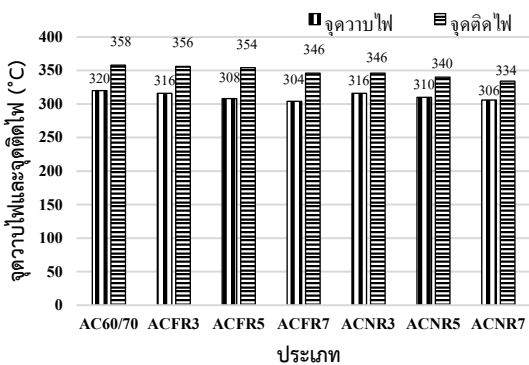
จากรูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบจุดอ่อนตัว พบว่าเมื่อปริมาณเกล็ดยางมากขึ้นร้อยละ 3, 5 และ 7 จะทำให้ค่าจุดอ่อนตัวมีค่าเพิ่มขึ้น 52, 53 และ 54 ตามลำดับ และเมื่อปริมาณน้ำยางมากขึ้นร้อยละ 3, 5 และ 7 จะทำให้ค่าจุดอ่อนตัวมีค่าเพิ่มขึ้น 51, 53 และ 56 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความเหนียวหนืดยืดหยุ่นที่อุณหภูมิสูงขึ้นของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับน้ำยางและเกล็ดยางร้อยละ 3, 5 และ 7 ตามลำดับซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัย [4]–[6] และตามที่ ทล.ก. 409/2556 ของกรมทางหลวง ให้ค่าจุดอ่อนตัวไม่น้อยกว่า 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5 ผลการทดสอบอุณหภูมิการอบตัว

3.3. การทดสอบจุดวาบไฟและจุดติดไฟ

จากรูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบจุดวาบไฟและจุดติดไฟ พบว่าเมื่อปริมาณเกล็ดยางมากขึ้นร้อยละ 3, 5 และ 7 จะทำให้ค่าจุดวาบไฟมีค่าลดลง 316, 308 และ 304 ตามลำดับ และเมื่อปริมาณน้ำยางมากขึ้นร้อยละ 3, 5 และ 7 จะทำให้ค่าจุดวาบไฟมีค่าลดลง 316, 310 และ 306 ตามลำดับ เมื่อปริมาณเกล็ดยางมากขึ้นร้อยละ 3, 5 และ 7 จะทำให้ค่าจุดติดไฟมีค่าลดลง 356, 354 และ 346 ตามลำดับ และลดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำยางร้อยละ 3, 5 และ 7 จะทำให้ค่าจุดติดไฟมีค่าลดลง 346, 340 และ 336 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงช่วงอุณหภูมิที่ให้ความร้อนกับวัสดุแอสฟัลต์ได้อย่างปลอดภัย ซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัย [4] และตามข้อกำหนดที่ ทล.ก. 409/2556 ของกรมทางหลวง ให้จุดวาบไฟไม่น้อยกว่า 220 องศาเซลเซียส

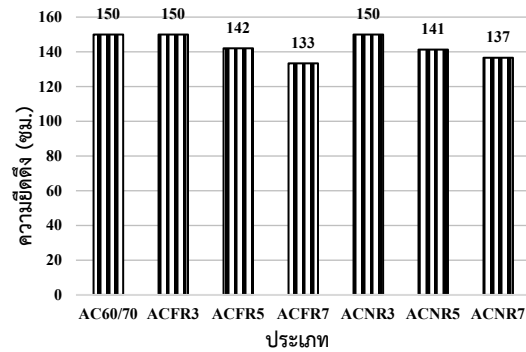


รูปที่ 6 ผลการทดสอบจุดวาบไฟและจุดติดไฟ

3.4. การทดสอบการทดสอบความยืดหยุ่นของวัสดุบิตูเมน

จากรูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบความยืดหยุ่น พบว่าเมื่อปริมาณเกล็ดยางมากขึ้นร้อยละ 3, 5 และ 7 จะทำให้ค่าจุดวาบไฟมีค่าลดลง 150, 142 และ 133 ตามลำดับ และเมื่อปริมาณน้ำยางมากขึ้นร้อยละ 3, 5 และ 7 จะทำให้ค่าจุดวาบไฟมีค่าลดลง 150, 141 และ 137 ตามลำดับ ค่าความยืดหยุ่นลดลงเมื่อปริมาณน้ำยางและเกล็ดยาง

เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 และ 7 แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของการตั้งของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับน้ำยางและเกล็ดยางร้อยละ 3, 5 และ 7 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัย [4], [6] และตามข้อกำหนดที่ ทล.ก. 409/2556 ของกรมทางหลวง ให้ค่าความยืดหยุ่นไม่น้อยกว่า 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 7 ผลการทดสอบความยืดหยุ่น

4. สรุป

จากการศึกษาพฤติกรรมทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเกล็ดยางพาราธรรมชาติและน้ำยางพาราธรรมชาติ พบว่า

4.1 เมื่อปริมาณน้ำยางและเกล็ดยางเพิ่มขึ้น ค่าเพนิเทรชันลดลง และค่าเพนิเทรชันสำหรับแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ มีค่ามากกว่า ค่าเพนิเทรชันสำหรับแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเกล็ดยางพาราธรรมชาติ ในปริมาณเดียวกัน

4.2 เมื่อปริมาณน้ำยางและเกล็ดยางเพิ่มขึ้น ค่าจุดอ่อนตัวจะเพิ่มขึ้น และค่าจุดอ่อนตัวสำหรับแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ มีค่าน้อยกว่า ค่าจุดอ่อนตัวสำหรับแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเกล็ดยางพาราธรรมชาติ ในปริมาณร้อยละ 3 และ 7 ในส่วนร้อยละ 5 ทั้งสองมีค่าจุดอ่อนตัวเท่ากัน

4.3 เมื่อปริมาณน้ำยางและเกล็ดยางเพิ่มขึ้น จุดวาบไฟและจุดติดไฟมีค่าน้อยลง และจุดวาบไฟสำหรับแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ มีค่ามากกว่า จุดวาบไฟสำหรับแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเกล็ดยางพาราธรรมชาติ ในปริมาณร้อยละ 5 และ 7 ในส่วนร้อยละ 3 ทั้งสองมีค่าเท่ากัน และจุดติดไฟสำหรับแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ มีค่าน้อยกว่า จุดติดไฟสำหรับแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเกล็ดยางพาราธรรมชาติ ในปริมาณเดียวกัน

4.4 เมื่อปริมาณน้ำยางและเกล็ดยางเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 และ 7 ค่าความยืดหยุ่นลดลง และค่าความยืดหยุ่นสำหรับแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ มีค่าน้อยกว่า ค่าความยืดหยุ่นสำหรับแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเกล็ดยางพาราธรรมชาติ ในปริมาณร้อยละ 5 ในส่วนร้อยละ 7 มีค่ามากกว่า

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 การผสมสำหรับแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพาราธรรมชาติจะทำให้แอสฟัลต์เกิดฟองและอาจจะกระเด็นโดนผู้ที่ทำการทดสอบได้ ดังนั้นควรผสมในถังผสมแบบปิดจะปลอดภัยกว่า

5.2 ควรทำการทดสอบ ความต้านแรงเฉือนไดนามิก, ความเหนียวบรูคฟิลด์, เสถียรภาพต่อการเก็บที่ 24 ชั่วโมง, ความยืดหยุ่นกลับ และกากที่เหลือจากการอบ เพิ่มเติมซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติทางกลของแอสฟัลต์ได้มากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการห้องปฏิบัติการวิศวกรรมการทาง และขอขอบคุณผู้ร่วมทำงานวิจัยและอาจารย์ประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมการทาง สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ที่ได้ให้การสนับสนุนจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี

7. การอ้างอิง

- [1] ณพรัตน์ วิจิตชลชัย และคณะ. (2554). คำแนะนำการใช้ยางพาราชนิดน้ำยางชั้นผสมยางมะตอยในการลาดถนน. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- [2] Tuntiworawit et.al. (2005). The Modification of Asphalt with Natural Rubber Latex. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5, pp. 679 – 694
- [3] นิรชร พึ่งแดง (2550). การทดสอบวัสดุการทาง (Highway Materials Testing). ISBN 978-974-443-239-1
- [4] เทิดเกียรติ ไชยลาภ (2559). การศึกษาคุณสมบัติแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพารา โดยใช้สัดส่วนยางพาราที่แตกต่างกัน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ประเทศไทย
- [5] Mohd Rosli Mohd Hasan et.al. (2020). Impacts of recycled crumb rubber powder and natural rubber latex on the modified asphalt rheological behaviour, bonding, and resistance to shear. *Construction and Building Materials* 234, 117357.
- [6] Weiyu Fan et.al. (2020). Influence of crumb rubber particle size and SBS structure on properties of CR/SBS composite modified asphalt. *Construction and Building Materials* 235, 11751