คุณสมบัติทางกลของส่วนผสมแอสฟัลติกโดยใช้เบกาไลต์ในผิวทางยืดหยุ่น
Mechanical properties of the asphaltic mixtures using bakelite in flexible pavement

พนารัตน์ แสงปัญญา[1,*] และ พานิช วุฒิพฤกษ์[2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง จ.กรุงเทพมหานคร
[2] ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร
**Corresponding author; E-mail address: pat.eng@rumail.ru.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของแอสฟัลติกคอนกรีต ตามมาตรฐาน ในงานผิวทาง เทียบกับ แอสฟัลติกคอนกรีตที่ทดแทนมวลรวมด้วยพลาสติกเบกาไลต์ด้วยอัตราส่วน 0, 50, 75, 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เตรียมตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีต แล้วบ่มไว้ 14 วัน การทดสอบโดยวิธี Marshall ทล.-ท 604/2517 (ASTM D 1559) พบว่า เปอร์เซ็นต์ยางที่เหมาะสมของแอสฟัลติกคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ คือ 7.9% ความหนาแน่น 2.250 g./ml. และมีค่าเสถียรภาพ 2310 ปอนด์ ตัวอย่างที่ทดแทนมวลรวมด้วยเบกาไลต์ คือ AB50 AB75 AB 90 และ AB100 ต้องใช้ปริมาณยางมากขึ้นเมื่อการทดแทนมากขึ้นเป็น 8% 8.1% 8.4% 8.5% ตามลำดับ ความหนาแน่นลดลงเป็น 1.733 1.362 1.312 และ 1.304 g./ml. ตามลำดับ มีค่าเสถียรภาพลดลงเป็น 1738 1588 1480 และ 608 ปอนด์ ตามลำดับ ส่วนค่า ค่าการไหลที่เปอร์เซ็นต์ยางเหมาะสมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทดแทนมากขึ้น การศึกษาพบว่า AB50 ที่ใช้ปริมาณยาง CMS – 2h 8% ค่าเสถียรภาพ 1738 ปอนด์ มากกว่า 1600 ปอนด์ สามารถใช้กับงานไหล่ทางและเหมาะกับงานซ่อมผิวทาง โดยมีค่าใช้จ่าย 1.27 บาท/กรัม น้อยกว่าเมื่อเทียบกับ AB0 ที่มีค่าใช้จ่าย 1.35 บาท/กรัม อักทั้งยังมีปริมาตรใช้งานมากกว่า AB0 ถึง 1.48 เท่า ตอบโจทย์การจัดการขยะอย่างถูกวิธี และการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

คำสำคัญ: เบกาไลต์, แอสฟัลติก, ผิวทาง, วัสดุทดแทน, ขยะอุตสาหกรรม

Abstract

This research aims to study the mechanical properties of standardized asphalt concrete in flexible pavement road compared to asphalt concrete that replaced the Bakelite aggregates at ratios of 0, 50, 75, 90 and 100% by weight. Asphalt concrete samples were prepared and incubated for 14 days, and then the Marshall method, dhs408-32 or ASTM D 1559, was tested. It was found that the optimum of the percent binder of the asphalt concrete from natural aggregates was 7.9% with a density of 2.250 g/ml and the stability value of 2310 lbs. Examples of replaced the aggregate by Bakelite are AB50, AB75, AB 90 and AB100 were required more binder to 8% 8.1% 8.4% 8.5%, respectively. The densities were reduced to 1.733, 1.362, 1.312 and 1.304 g/ml, respectively. The stability values were reduced to 1738, 1588, 1480 and 608 lds, respectively. The flow values at the optimum percent binder increases with more replacement. The study found that AB50 using CMS - 2h of 8% gave the stability of 1738 lbs which higher than the standard requirement of 1600 lbs and can be used for the road shoulder applications and suitable for pavement repair such as the deep patching and the skin patching. The cost is 1.27 bahts/g which less than AB0, which costs 1.35 bahts/g, and also, it's more 1.48 times working volume than AB0. The effective of this research respond to the problem of correct waste management and efficient use of resources according to the circular economy principle.

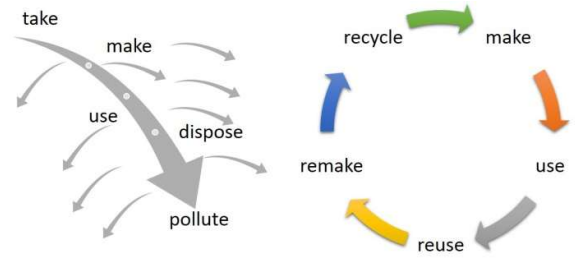
Keywords: Bakelite, asphalt, pavement, utilization, industrial waste

1. บทนำ

งานวิจัยนี้สนับสนุนการสร้างคุณค่าให้กับพลาสติกใช้แล้วให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ซึ่งตรงกันข้ามกับเศรษฐกิจเชิงเส้นแบบดั้งเดิม ที่มีรูปแบบการผลิตแบบ “ขุด ทรัพยากร สร้างสิ่งของ ใช้ประโยชน์ ทิ้ง“ ซึ่งนำไปสู่มลพิษ ดังรูปที่ 1 [1] เส้นทางจักรยานทำจากพลาสติกเส้นแรกของโลกที่ทำจากขวด ถ้วย และบรรจุภัณฑ์รีไซเคิล ยาว 20 เมตร ดังรูปที่ 2 [2] เปิดให้บริการในเขต Zwolle, Netherlands ในเดือนกันยายน คศ. 2018 และพบว่ามีความคงทนกว่าแอสฟัลติกถึง 3 เท่า แนวคิด Recycled Plastic Road ได้ขยายไปทั่วโลกอย่างรวดเร็วในปีนั้น สำหรับประเทศไทยเราได้มีการศึกษาและทดลองสร้างถนนจากพลาสติกหลายโครงการ เช่น การศึกษาของกรมทางหลวงชนบทโดย ทวี แสงสุวรรณโณ และคณะ [3] ได้วิจัยพบว่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีตภาคสนาม ชนิดผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีตผสมขยะพลาสติก มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมเทียบเท่ากับผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีตโดยทั่วไป นอกจากนี้ ยังมีการสนับสนุนเชิงนโยบาย ภายใต้ โครงการศึกษาพัฒนาการใช้ประโยชน์จากพลาสติกเหลือใช้เพื่อเป็นส่วนผสมในแอสฟัลติกคอนกรีตสาหรับงานทาง ตามมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 12 พย.2562 ซึ่งเป็นความร่วมมือด้านวิชาการ ทรัพยากร และการบริหารจัดการ ระหว่างกรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท เอสซีจี กลุ่มบริษัทดาว และ มช. ในการศึกษา วิจัย และพัฒนาการใช้ประโยชน์จากพลาสติกเหลือใช้ (ขยะพลาสติก) ภายใต้ข้อแนะนำของผู้เชี่ยวชาญทางการศึกษาอย่างมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดย ทช.ได้ทำการทดลองนำขยะประเภทพลาสติกที่ใช้แล้วมาผสมในแอสฟัลติกคอนกรีตในอัตราส่วนเหมาะสมร้อยละ 8 และ 10 ของน้ำหนักแอสฟัลติกซีเมนต์ ในห้องปฏิบัติการซึ่งมีผลเป็นที่น่าพอใจ จึงได้นำร่องทดลองปูผิวถนนพลาสติกแอสฟัลติก ในพื้นที่จริงบนถนนทางหลวงชนบทสาย สบ.1004 อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี เพื่อศึกษาคุณสมบัติในการต้านทานต่อการเกิดร่องล้อหรือการต้านทานต่อการยุบตัว

ของผิวถนนพลาสติกแอสฟัลติก ภายใต้สภาวะแวดล้อมจริงที่มีน้ำหนักรถบรรทุกหรือแรงกระทำซ้ำ ๆ กันของปริมาณการจราจรการใช้งานจริงของรถยนต์ขนาดต่าง ๆ โดยเฉพาะรถบรรทุกขนาดใหญ่และมีการติดตามผลเป็นระยะ ๆ ซึ่งผลทดสอบในเบื้องต้น พบว่าผิวถนนพลาสติกแอสฟัลติกมีความแข็งแรง ทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดีและเป็นไปตามมาตรฐานสากล

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของมวลรวมจากขยะพลาสติกเบกาไลต์ ศึกษาคุณสมบัติทางกลของแอสฟัลติกคอนกรีตตามมาตรฐานงานผิวทาง เทียบกับแอสฟัลติกคอนกรีตที่ทดแทนมวลรวมด้วยพลาสติกเบกาไลต์ ที่อัตราส่วนต่างๆ วิเคราะห์อัตราส่วนที่เหมาะสมที่ใช้พลาสติกเบกาไลต์ทดแทน เสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมในการนำเอาพลาสติกเบกาไลต์ไปใช้ในงานผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต

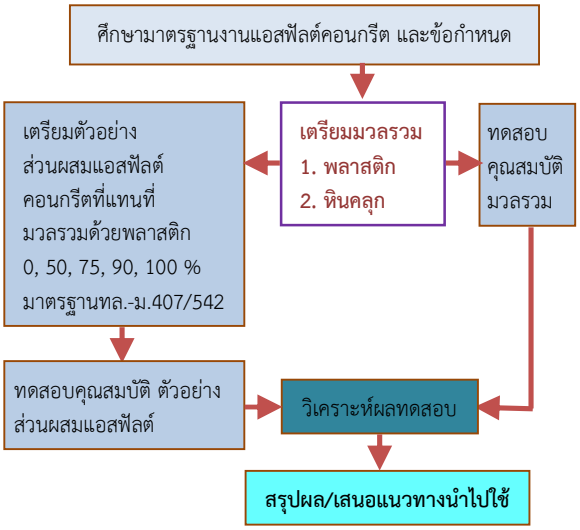


รูปที่ 1 Linear versus circular economy [1]

รูปที่ 2 A road made from 100% recycled materials [2]

2. วิธีการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติทางกลของส่วนผสมแอสฟัลติกโดยใช้เบกาไลต์ในผิวทางยืดหยุ่น เป็นการศึกษาเชิงทดลอง โดยอ้างอิงมาตรฐานกรมทางหลวง [4] และวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง โดยทดสอบหาปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแอสฟัลติกเบกาไลต์ โดยการทดสอบคุณสมบัติแอสฟัลติกที่แทนมวลรวมด้วยพลาสติก ด้วยอัตราส่วน 0, 50, 75, 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พลาสติกที่เลือกใช้ คือ พลาสติกชนิดเบกาไลต์ ที่เป็นพลาสติกจากอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์นำมาผสมทดแทนมวลธรรมชาติของแอสฟัลติกคอนกรีต มีขั้นตอนดำเนินการวิจัยแสดงในรูปที่ 3 สารยึดเกาะที่ใช้คือ ยาง CMS – 2h เตรียมตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีต แล้วบ่มไว้ 14 วัน จึงทดสอบโดยวิธี Marsahall ทล.-ท 604/2517 (ASTM D 1559)



รูปที่ 3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมมวลรวม

วัสดุมวลรวมสำหรับใช้ทำแอสฟัลติกคอนกรีต (Asphalt Concrete) ประกอบด้วย มวลรวม และ แอสฟัลติก การเตรียมมวลรวม ประกอบด้วย หินคลุก และ พลาสติกชนิดเบกาไลต์ที่ใช้แทนที่มวลรวม

2.1.1 วัสดุมวลหยาบ (Coarse Aggregates)

วัสดุที่มีขนาดค้างตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ขึ้นไป ได้แก่ หินย่อย (Crushed Rock) หรือวัสดุอื่นใด ที่กรมทางหลวงอนุมัติให้ใช้ได้ ซึ่งมีคุณสมบัติตามที่กำหนด

2.1.2 วัสดุมวลละเอียด (Fine Aggregates)

วัสดุที่มีขนาดผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ลงมา ได้แก่ วัสดุหินฝุ่น ทราย หรือวัสดุอื่นใด ที่กรมทางหลวงอนุมัติให้ใช้ได้ ซึ่งมีคุณสมบัติตามที่กำหนด

2.1.3 วัสดุผสมแทรก (Mineral Filler)

วัสดุที่มีขนาดผ่านตะแกรงขนาด 0.600 มิลลิเมตร (เบอร์ 30) ลงมา ได้แก่ วัสดุหินฝุ่น ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ซิลิก้าซีเมนต์ หรือวัสดุอื่นใด ที่กรมทางหลวงอนุมัติให้ใช้ได้ ซึ่งมีคุณสมบัติตามที่กำหนด ใช้ผสมเพิ่มในกรณีเมื่อผสมมวลหยาบกับมวลละเอียดเป็นมวลรวมแล้ว ส่วนละเอียดใน มวลรวมยังมีไม่เพียงพอ

2.2 แอสฟัลติก

ใช้แอสฟัลติกซีเมนต์ AC 60-70 ตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.851: มาตรฐานแอสฟัลติกซีเมนต์สำหรับงานทาง

2.3 การทดสอบคุณสมบัติมวลรวม

ความสึกหรอของ Coarse Aggregate (ทล.-ท.202/2515)
หาค่า Sand Equivalent (ทล.-ท.203/2515)
ค่าขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง (ทล.-ท.204/2516)
ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (ทล.-ท.207/2517)
ค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด (ทล.–ท. 213/2531)
ค่าดรรชนีความแบน (Frakiness Index) (ทล.-ท. 210/2518)

หาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม (ทล.–ท. 213/2531)

2.4 การทดสอบคุณสมบัติตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตและตัวอย่างที่แทนที่มวลรวมด้วยพลาสติก

ทดสอบหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต มาตรฐาน ทล.-ท. 413/2544

ทดสอบหาการดูดซึมแอสฟัลติกของมวลรวม (Asphalt Absorption) มาตรฐาน ทล.-ท. 414/2547

ทดสอบหาคุณสมบัติแอสฟัลติกคอนกรีตโดยวิธี Marshall มาตรฐาน ทล.-ท. 604/2517

2.5 ตัวอย่างส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีตที่ศึกษา

ทำการศึกษาทั้งหมด 5 กรณี ทดสอบแบบ Cold Mix จำนวนทั้งหมด 75 ก้อน ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 AB0 คือ มวลรวมธรรมชาติ 100 เปอร์เซ็นต์ (%)
กรณีศึกษาที่ 2 AB50 คือ มวลรวมธรรมชาติ 50 % เบกาไลต์ 50 %
กรณีศึกษาที่ 3 AB75 คือ มวลรวมธรรมชาติ 25 % เบกาไลต์ 75 %
กรณีศึกษาที่ 4 AB90 คือ มวลรวมธรรมชาติ 10 % เบกาไลต์ 90 %
กรณีศึกษาที่ 5 AB100 คือ มวลรวมเบกาไลต์ 100 %

หาอัตราส่วนผสมซึ่งทำให้ได้ขนาดคละรวม (Combined Gradation) ใกล้เคียงกับขนาดคละรวมของวัสดุยุ้งหินเย็น (Cold Bin) มากที่สุดและอยู่ในข้อกำหนด ทล. ท - 407/2542 ขนาดวัสดุมวลรวมสำหรับวัสดุผสมเย็นงานซ่อมผิว เกรด 4 การศึกษานี้ใช้เบกาไลต์เป็นวัสดุผสมแทรกที่นำมาใช้แทนที่วัสดุมวลรวมธรรมชาติในปริมาณ 0, 50, 75, 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นคำนวณหาดัชนีความแบนและดัชนีความยาวของวัสดุมวลรวมที่ผสมกันแล้ว นำมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดว่าใช้ได้หรือไม่ จากการศึกษาพบว่าควรใช้เป็นวัสดุผสมเย็นด้วยแอสฟัลติกอิมัลชัน (Cold Mix) สำหรับงานซ่อมผิว (Patching)

เตรียมตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีตโดยดำเนินการตามมาตรฐาน ทล.-ท. 604/2517 ใช้วัสดุผสมแทรกเบกาไลต์ 5 ส่วนผสม (0, 50, 75, 90, 100%) โดยแต่ละส่วนผสมจะแปรผันเปอร์เซ็นต์ยางแตกต่างกัน 5 กรณี คือ 5, 6, 7, 8, และ 9% และแต่ละกรณีจัดเตรียมตัวอย่างตามมาตรฐาน ทล.-ท. 604/2517 กรณีละ 3 ตัวอย่าง รวม 5x5x3 = 75 ตัวอย่าง

หินคลุก เบกาไลต์ และ แอสฟัลติกซีเมนต์ AC 60-70 แสดงในรูปที่ 4 ตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีต และการทดสอบ Marshall แสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 4 หินคลุก เบกาไลต์ และ แอสฟัลติกซีเมนต์ AC 60-70

3. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยประกอบด้วย 5 หัวข้อดังนี้ คุณสมบัติของมวลรวม การหลุดลอกของมวลรวม คุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีตที่ศึกษา ความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากการทดแทนด้วยเบกาไลต์ และ ประโยชน์ในด้านวิชาการ

3.1 คุณสมบัติของมวลรวม

รูปที่ 5 ตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีต และการทดสอบ Marshall

3.1.1 มวลรวมธรรมชาติ

จากผลการทดสอบในตารางที่ 1 พบว่ามวลหยาบธรรมชาติมีค่าการดูดซึมน้ำ 0.82 เปอร์เซ็นต์ มวลละเอียดมีค่าเท่ากับ 0.33 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐาน ทล.–ม. 407/2542 กำหนดค่าดูดซึมน้ำไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวมธรรมชาติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ค่าดัชนีความแบนของมวลหยาบธรรมชาติมีค่า 22 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐาน มทช. 209-2545 กำหนดค่าดัชนีความแบนไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ค่า sand equivalent ของมวลรวมธรรมชาติมีค่าเท่ากับ 84 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐาน มทช. 209-2545 กำหนดค่า sand equivalent ไม่ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และค่าการสึกหรอของมวลรวมธรรมชาติมีค่า 4.5 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐาน มทช. 209-2545 กำหนดค่าการสึกหรอ ไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สามารถนำไปศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีตต่อไปได้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของมวลรวมที่ศึกษา

คุณสมบัติ	มวลรวมหยาบ	มวลรวมละเอียด	เบกาไลต์หยาบ	เบกาไลต์ละเอียด
ความถ่วงจำเพาะ	2.658	2.699	1.333	1.395
การดูดซึมน้ำ (%)	0.82	0.33	1.49	1.15
ดัชนีความแบน (%)	22	-	24.47	-
ดัชนีความยาว (%)	19	-	73.822	-
ค่า Sand Equivalent (%)	-	84.0	-	98.1
การดูดซึมแอสฟัลติก(%)	-	0.25	-	0.25
ค่าการสึกหรอ (%)	1.8	4.5	16.5	22.4

3.1.2 เบกาไลต์

จากตารางที่ 1 พบว่ามวลหยาบเบกาไลต์มีค่าการดูดซึมน้ำ 1.49 เปอร์เซ็นต์ มวลละเอียดมีค่าเท่ากับ 1.15 เปอร์เซ็นต์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ค่าดัชนีความแบนของมวลหยาบเบกาไลต์มีค่า 24.47 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ค่า sand equivalent ของมวลรวมเบกาไลต์มีค่าเท่ากับ 98.1 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และค่าการสึกหรอของมวลรวมเบกาไลต์มีค่า 22.4 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สามารถนำไปศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีตต่อไปได้

ความเป็นอันตรายของเบกาไลต์ องค์การนานาชาติเพื่อการวิจัยมะเร็ง (IARC) [5] ได้จัดให้ฟอร์มาลดีไฮด์อยู่ในกลุ่ม 1 ของการเป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ คือ โรคมะเร็งโพรงจมูก ซึ่งมีสาเหตุจากการหายใจฟอร์มาลดีไฮด์เข้าไป ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างดีเอ็นเอกับโปรตีน (DNA-protein crosslink) ในเนื้อเยื่อหลังโพรงจมูก (nasopharyngeal

tissue) ซึ่ง WHO [6] กำหนดค่าปริมาณได้รับประจำวันที่ทนได้ (Tolerable daily intake; TDI) ไว้ไม่เกิน 0.15 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลาสติกเบกาไลต์ โดย Farzana R.และ V. Sahajwalla [7] พบว่ามีกราไฟท์ (Graphite) ประมาณร้อยละ 99 และ ฝุ่นผงของสารประกอบของเหล็ก (Fe_2CO_3) มากกว่าร้อยละ 99 และเบกาไลต์จะประกอบไปด้วย ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และ ซัลเฟอร์ ในอัตราส่วนร้อยละ 53.4, 4.0, 11.6 และ 0.017 โดยน้ำหนักตามลำดับ

คุณสมบัติทางเคมีของเบกาไลต์ที่ศึกษา เบกาไลต์มีสูตรทางเคมี คือ $(C_6H_6O{\bullet}CH_2O)_n$ นำเบกาไลต์ที่ใช้ศึกษาไปแช่น้ำแบบพอดีท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วส่งทดสอบในห้องปฏิบัติการเคมีเพื่อหาปริมาณของ Phenols และ Formaldehyde พบว่า น้ำที่ได้มีสีน้ำตาลขุ่น มีกลิ่นฉุน มีปริมาณ Phenols ที่ทดสอบโดยวิธี 4-Aminoantipyrine มีค่า 151 mg/l (มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วน Formaldehyde ทดสอบโดยวิธี Distillation, Colorimetric มีค่า 23.1 mg/l เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 กำหนดไว้ดังนี้ สารประกอบฟีนอล (Phenols Compounds) ไม่มากกว่า 5.0 mg/l และ ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 5.0 mg/l การทดสอบน้ำแช่ของเบกาไลต์ที่ศึกษา พบว่าค่าปริมาณของ Phenols และ Formaldehyde มีค่าเกินมาตรฐานกำหนด แต่เมื่อนำตัวอย่างแอสฟัลติกผสมเคลือบเบกาไลต์ แช่น้ำ 24 ชั่วโมง แล้วส่งน้ำนี้ไปทดสอบในห้องปฏิบัติการเคมีอีกครั้ง ให้ค่าผลการทดสอบดังนี้ ปริมาณ Phenols ที่ทดสอบโดยวิธี 4-Aminoantipyrine มีค่าเท่ากับ 4.3mg/l ส่วน Formaldehyde ทดสอบโดยวิธี Distillation, Colorimetric มีปริมาณ 1.6 mg/l ผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

3.2 การหลุดลอกของมวลรวม (Stripping)

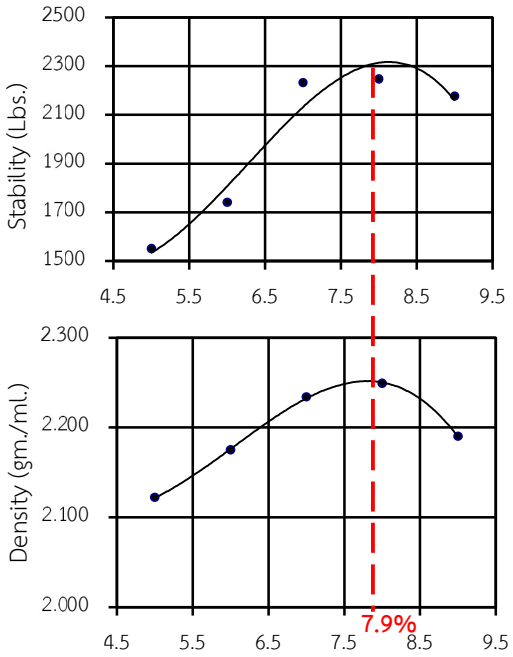
ทดสอบบนถาดทดลอง (Plate Test)โดยทำการทดสอบ 2ชุด แล้วหาค่าเฉลี่ย การทดสอบทั้ง 2 ชุด แสดงในรูปที่ 6 การยึดเกาะของยางที่ผิวของเบกาไลต์ แสดงในรูปที่ 7 พบว่าเบกาไลต์มีปริมาณยางที่ติดผิวเฉลี่ยหรือเรียกว่าค่าการหลุดหลอกเท่ากับ 16.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับมาตรฐานการทดสอบมวลรวมจากหินธรรมชาติแล้วอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือ ไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 6 เบกาไลต์ที่เกาะบนผิวแอสฟัลติก

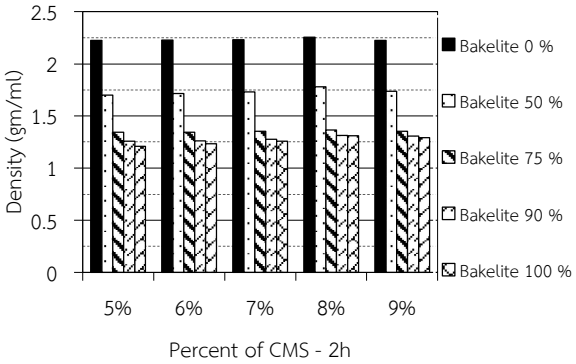
3.3 คุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีตที่ศึกษา

การทำ Hot mix พบว่าตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเบกาไลต์ มีสารพิษระเหยออกมาก ให้กลิ่นฉุนและแสบตา ส่วนการทำ Cold mix พบว่าเปอร์เซ็นต์ยางที่เหมาะสมของแอสฟัลติกคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติคือ 7.9% ความหนาแน่น 2.250 gm/ml. และมีค่าเสถียรภาพ 2310 ปอนด์ ดังรูปที่ 8 ตัวอย่างที่ทดแทนมวลรวมด้วยเบกาไลต์ คือ AB50 AB75 AB 90 และ AB100 ต้องใช้ปริมาณยางมากขึ้นเมื่อการทดแทนมากขึ้นเป็น 8% 8.1% 8.4% 8.5% ตามลำดับ ความหนาแน่นลดลงเป็น 1.733 1.362 1.312 และ 1.304 gm/ml. ตามลำดับ ดังรูปที่ 9 มีค่าเสถียรภาพลดลงเป็น 1738 1588 1480 และ 608 ปอนด์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 10 ส่วนค่าค่าการไหลที่เปอร์เซ็นต์ยางเหมาะสมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทดแทนมากขึ้น ดังรูปที่ 11 การศึกษาพบว่า AB50 ที่ใช้ปริมาณยาง CMS – 2h 8% ค่าเสถียรภาพ 1738 ปอนด์ มากกว่า 1600 ปอนด์ (ดูรูปที่ 9) มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแอสฟัลติกคอนกรีตมาตรฐาน ส่วนรูปที่ 12 แสดงตัวอย่างผลการทดสอบคุณสมบัติ โดยวิธี Marshall ของตัวอย่างที่ทดแทนมวลรวมด้วยเบกาไลต์

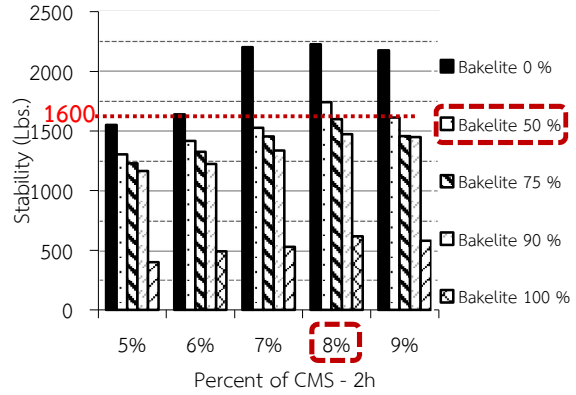
รูปที่ 7 การยึดเกาะของยางจากการทำ Stripping



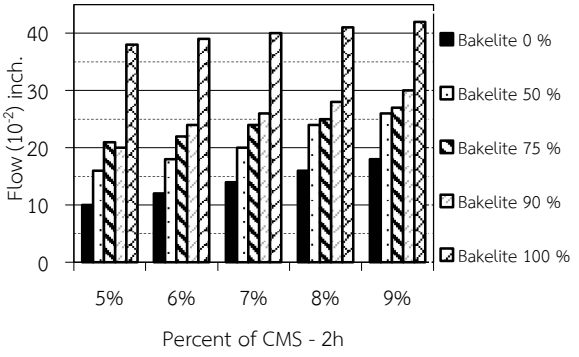
รูปที่ 8 เปอร์เซ็นต์ยางที่เหมาะสม



รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีตแต่ละกรณี



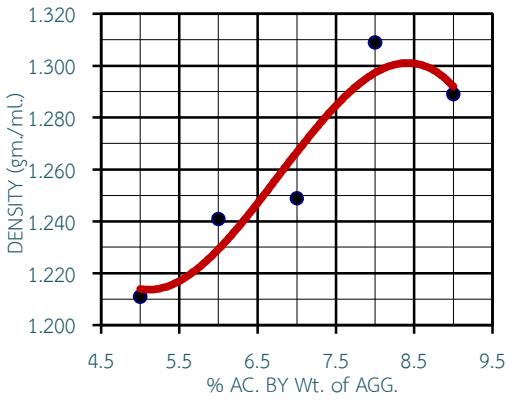
รูปที่ 10 ค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีตแต่ละกรณี



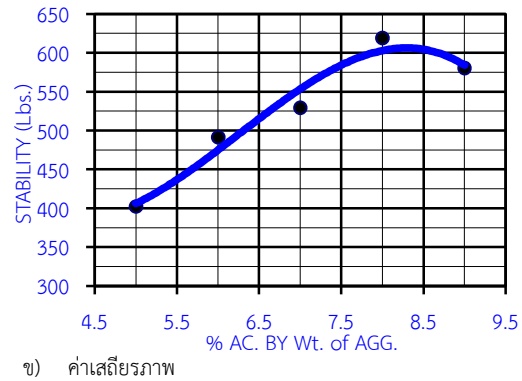
รูปที่ 11 ค่าเฉลี่ยค่าการไหลของตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีตแต่ละกรณี

3.4 ความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากการทดแทนมวลรวมด้วยเบกาไลต์

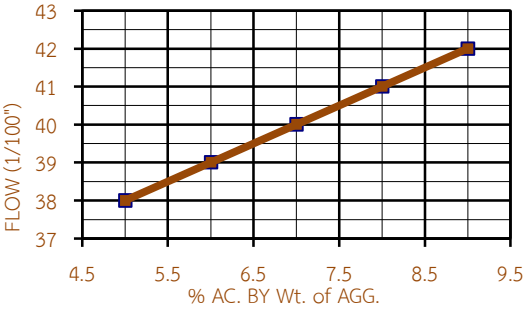
กรณีศึกษาที่เหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์คือกรณีศึกษา AB50 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับกรณีศึกษา AB0 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ ที่เป็นมาตรฐานการใช้งานด้านแอสฟัลติกคอนกรีตพบว่ากรณีศึกษา AB50 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ นั้นมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่ากรณีที่ศึกษา AB0 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ ต่างกัน 0.947 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรรวมถึงค่าเสถียรภาพต่างกัน 1610.02 ปอนด์ ทำให้รับแรงได้น้อยกว่าในส่วนของอัตราการไหล สังเกตได้ว่ากรณีที่ศึกษา AB50 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ นั้น มีความยืดหยุ่นมากกว่ากรณีที่



ก) ความหนาแน่น



ข) ค่าเสถียรภาพ



ค) ค่าการไหล

รูปที่ 12 คุณสมบัติของตัวอย่างที่ทดแทนด้วยเบกาไลต์โดยวิธี Marshall

ศึกษา AB0 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสำหรับงานซ่อมผิว กล่าวคือ กรณีที่ศึกษา AB50 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับ กรณีที่ศึกษา AB75, AB 90, AB100 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความหนาแน่น ค่าเสถียรภาพ และค่าการไหล ใกล้เคียงกับกรณีที่ศึกษา AB0 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ ราคาของเบกาไลต์เท่ากับ 0.00 บาท/ลบ.ม. (เป็นกากของเสียของอุตสาหกรรม) ราคาของหินคลุกเท่ากับ 410.00 บาท/ลบ.ม. (ราคาวัสดุ 2566) ราคาของยาง CMS – 2h เท่ากับ 21.915.67 บาท/ตัน เปรียบเทียบราคาของกรณีศึกษาของ AB50 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ เบกาไลต์ 350 กรัม + หินคลุก 350 กรัม + ยาง CMS - 2h 56 กรัม = 0 + 0.09 + 1.18 = 1.27 บาท/กรัม เทียบกับกรณีศึกษา AB0 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ เบกาไลต์ 0 กรัม + หินคลุก

700 กรัม + ยาง CMS - 2h 56 กรัม = 0 + 0.17 + 1.18 = 1.35 บาท/กรัม ส่วนปริมาตรของกรณีศึกษา AB50 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์มีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 62.57 มิลลิเมตร หนากว่ากรณีศึกษา AB0 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์มีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 42.36 มิลลิเมตร ความหนาต่างกันเท่ากับ 20.21 มิลลิเมตรทำให้ปริมาณการซ่อมผิวทางที่มากกว่า จึงเหมาะสำหรับงานซ่อมผิวทาง

3.5 ประโยชน์ในด้านวิชาการ

การศึกษาและพัฒนาการนำพลาสติกเหลือใช้ เพื่อนำมาเป็นส่วนผสมในแอสฟัลติกคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างทาง ซึ่งช่วยเพิ่มความคงทน และยืดอายุการใช้งานของถนน สามารถสร้างมาตรฐานใหม่ให้การทำถนนของประเทศ ตอบโจทย์การส่งเสริมการบริหารจัดการขยะอย่างถูกวิธี และการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) สอดคล้องตามนโยบาย BCG Economy (Bio - Circular - Green Economy) ของรัฐบาล สามารถขยายผลไปสู่การทำถนนในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยได้จริง ช่วยส่งเสริมการบริหารจัดการขยะโดยเฉพาะพลาสติกเบกาไลต์ได้อย่างยั่งยืนตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน และช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนได้อย่างเป็นรูปธรรม การศึกษานี้เป็นการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างมาตรฐานทางใหม่ ๆ โดยนำพลาสติกเหลือใช้เบกาไลต์ มาเป็นส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต

4. สรุป

คุณสมบัติทางกายภาพมวลรวมของพลาสติกเบกาไลต์ที่ศึกษา ได้แก่ ค่าดูดซึมน้ำ ค่าดัชนีความแบนของมวลหยาบ ค่า sand equivalent ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คุณสมบัติทางเคมีของเบกาไลต์ที่ศึกษาค่าปริมาณของ Phenols และ Formaldehyde เมื่อนำแอสฟัลติกมาผสมเคลือบเบกาไลต์แล้วแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ค่าที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

ตัวอย่างแอสฟัลติกผสมเบกาไลต์ มีความยืดหยุ่นมากขึ้น ความหนาแน่นลดลง กรณีที่ศึกษา AB50 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับ กรณีที่ศึกษา AB75, AB 90, AB100 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความหนาแน่น ค่าเสถียรภาพ และค่าการไหล ใกล้เคียงมากกว่ากับกรณีที่ศึกษา AB0 ซึ่งไม่มีการทดแทนมวลรวม ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์ เช่นกัน

กรณีศึกษาที่ AB50 ที่ใช้ยางอิมัลชันที่ 8 เปอร์เซ็นต์มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแอสฟัลติกคอนกรีตมาตรฐาน มีต้นทุนถูกกว่า ส่วนผสมที่ได้ให้ปริมาตรมากกว่า สามารถใช้กับงานไหล่ทางและเหมาะกับงานซ่อมผิวทาง

การนำพลาสติกเหลือใช้ มาเป็นส่วนผสมในแอสฟัลติกคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างทาง พิสูจน์ได้ว่าเพิ่มความคงทน และยืดอายุการใช้งานของถนนได้ สามารถสร้างมาตรฐานใหม่ให้การทำถนนของประเทศ ซึ่งตอบโจทย์การส่งเสริมการบริหารจัดการขยะอย่างถูกวิธี และการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายจ่ายจากรายได้มหาวิทยาลัยรามคำแหง ประเภทมหาวิทยาลัย โดยสถาบันวิจัยและพัฒนา ขอขอบคุณ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ที่กรุณาเอื้อเฟื้อวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] Catherine Weetman (2016). A Circular Economy Handbook for Business and Supply Chains: Repair, Remake, Redesign, Rethink, Koganpage publisher, 432 pages.

[2] Svetlana Jovanovic, 2018. World's first bike path made from recycled plastic opens in Netherlands, Balkan Green Energy News, Published: November 23, 2018.

[3] ทวี แสงสุวรรณโณ, ณัฐวิทย์เวียงยา, สกนธ์ พิทักษ์วินัย และ พิทยุตม์ เจริญพันธุ์ (2564). พฤติกรรมและกำลังของเสาท่อเหล็กหน้าตัดกลมกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเสริมเหล็ก. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26, วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564, การประชุมรูปแบบออนไลน์, หน้า INF-14-1 - INF-14-9.

[4] กรมทางหลวง.(2518) มาตรฐานกรมทางหลวง สืบค้นเมื่อ 2566, มีนาคม 25, เข้าถึงได้จาก: http://www.doh.go.th/content/page/page/5623
ทล.-ท. 605/2518: วิธีการทดลองการหลุดออก (Stripping) โดยวิธี Plate Test
ทล.-ท. 202/2515: วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion
ทล.-ท. 203/2515 วิธีการทดลองหาค่า Sand Equivalent (Sand Equivalent)
ทล.-ท. 207/2517 วิธีการทดลองหาค่าความจำถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดหยาบ
ทล.-ท. 209/2518 วิธีการทดลองหาค่าความจำถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ
Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด
ทล.-ท. 210/2518 วิธีการทดลองหาค่าดรรชนีความแบน (Flakiness Index)
ทล.-ท. 211/2518 วิธีการทดลองหาค่าดรรชนีความยาว (Elongation Index)
ทล.-ม. 407/2542 วัสดุมวลรวมผสมเย็นด้วยแอสฟัลติกอิมัลชัน
ทล.-ม. 408/2532 มาตรฐานแอสฟัลติกคอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt)
ทล.-ท.414/2547 วิธีการทดลองหาการดูดซึมแอสฟัลติกของมวลรวม
ทล.-ท.604/2517 วิธีการทดลองแอสฟัลติกคอนกรีต โดยวิธี Marshall

[5] International Agency for Research on Cancer (2006) "Formaldehyde, 2 - butoxyethanol and 1 - tert-Butoxypropan-2-ol" IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum 2006; 88: 39-325.

[6] World Health Organization, (2005) Formaldehyde in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva: WHO, 2005.

[7] Farzana R., Sahajwalla V. (2015) "Novel Recycling to Transform Automotive Waste Glass and Plastics into SiC-Bearing Resource by Silica Reduction", Jurnal of Sustain Metall, V.1 (2015) 65-74.

[8] Nopagon Usahanunth, Seree Tuprakay, (2017) "The transformation of waste Bakelite to replace natural fine aggregate in cement mortar" in Science Direct Case Studies - Construction Materials 6, pp.120–133.

[9] Nopagon Usahanunth, Seree Tuprakay, Waranon Kongsong, Sirawan Ruangchuay Tuprakay, (2018) "Study of mechanical properties and recommendations for the application of waste bakelite aggregate concrete" in Science Direct Case Studies-Construction Materials 8, pp 299-314.

[10] Shubham Bansal, Anil Kumar Misra, Purnima Bajpai "Evaluation of modified bituminous concrete mix developed using rubber and plastic waste materials" in Science Direct International Journal of sustainable built environment, Volume 6, pp.442-448, July 2017.