

การศึกษาการใช้เศษพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ผสมกับ
แอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับงานทาง
A Study of Polyethylene Terephthalate (PET) Waste mixed with
Asphalt Concrete for Road Construction

ร้อยตรี สุทธิชัย เจริญกิจ^{1*}

Sub Lieutenant Suttichai Charoenkij^{1*}

พันโท ธนิตเชษฐ์ ดวงโสมมา¹

Lieutenant Colonel Tanitchet Doungsoma¹

รองศาสตราจารย์ ดร. สราวุธ จริตงาม²

Associate Professor Dr. Saravut Jaritngam²

¹กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
นครนายก 26001 ประเทศไทย

¹Department of Civil Engineering, Academic Division, Chulachomkiao Royal Military
Academy, Nakhon Nayok, 26001, Thailand

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110 ประเทศไทย

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University,
Songkhla 90110, Thailand

*Corresponding Author. E-mail : suttichai1108@gmail.com

(Received: June 2, 2021, Revised: July 27, 2021, Accepted: August 25, 2021)

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณสมบัติด้วยเศษพลาสติก
รีไซเคิลประเภทพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) หรือที่พบเห็นได้ในรูปแบบของขวด
น้ำดื่มชนิดใส ผู้วิจัยเล็งเห็นความเป็นไปได้ในการใช้พลาสติกรีไซเคิลที่ปกติแล้วถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญของปัญหาขยะ
ไม่โครพลาสติก ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าพลาสติกจะจับตัวเป็นก้อนและเกิดการแตกหักได้ง่าย โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้
ทำการศึกษาโดยการนำแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC 60 - 70 ผสมกับพลาสติก PET ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน โดยน้ำหนัก
จากนั้นทำการทดสอบการจุ่มด้วยเข็ม การทดสอบจุดอ่อนตัว การทดสอบจุดวาบไฟ การทดสอบการยึดตัว เพื่อทราบ
ค่าคุณสมบัติเบื้องต้น จากนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดสอบการรับกำลังและการใช้งานโดยการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตด้วย
วิธีมาร์แชล จากผลการทดสอบแสดงค่าเสถียรภาพมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2,133 ปอนด์ เป็น 2,824 ปอนด์ เมื่อเพิ่มส่วนผสม
PET ที่อัตราส่วน ร้อยละ 10 (เสถียรภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 32.40) ค่าคุณสมบัติดัชนีมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานเมื่อผสมกับ
เศษพลาสติกในอัตราส่วนที่เหมาะสม กล่าวคือจากการศึกษาทำให้ทราบว่า การใช้เศษพลาสติก PET ผสมกับแอสฟัลต์

สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตได้อย่างมีนัยสำคัญ สามารถพัฒนาให้มีความเหมาะสมสำหรับใช้งานก่อสร้างทางและส่งผลดีต่อการจัดการปัญหาขยะพลาสติก

คำสำคัญ: ถนนพลาสติก, แอสฟัลต์คอนกรีต, เศษพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต, การปรับปรุงวัสดุทาง

Abstract : This research studies the engineering properties of asphalt concrete (AC) that has been improved with recycled polyethylene terephthalate (PET) waste commonly found in the form of clear plastic bottles. As plastic waste is one of many pollutions that contribute to today's environmental problems, researchers recognize the benefits of recycling it, previous research indicates that plastic tends to form into big chunks and break easily. This research studies AC60 - 70 graded asphalt concrete mixing with wasted PET. In different ratios by weight, various engineering property indices were tested to examine the material quality of each mix. These indices are quantified by performing the penetration test, softening point test, flash point test, and ductility test. When the initial property values are known, the researcher team then performed another test using the Marshall method for asphalt concrete testing to assess strength and functionality. The test result shows that asphalt concrete with 10% of PET has increased the stability from 2,133 lbs. to 2,824 lbs. (32.4% stability increased). In conclusion, wasted plastic replacement can significantly improve engineering property of asphalt concrete Including management of the plastic waste problem.

Keywords: Plastic Road, Asphalt Concrete, Highway Material, Plastic-Road

1. บทนำ

ระบบคมนาคมถือเป็นปัจจัยสำคัญของการดำเนินการต่างๆ ในสังคมปัจจุบัน และยังเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาที่ดิน โดยถนนเป็นทางเลือกการขนส่งที่นิยมและเข้าถึงได้ง่ายจึงจำเป็นที่จะต้องมีความสามารถเพียงพอที่จะรองรับการขยายตัวของเมืองในทุกมิติทั้งทางเศรษฐศาสตร์ และความเป็นอยู่ของประชากรในเขตพื้นที่ รวมถึงสามารถรองรับการขยายพื้นที่ของเขตเมือง ซึ่งในการใช้งานถนนนั้นย่อมก่อให้เกิดความเสียหายอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ไม่ว่าจะเป็นความเสียหายตามอายุการใช้งานหรือภัยพิบัติต่างๆ ทำให้เกิดผลกระทบต่อวิถีชีวิตของเมืองอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

การซ่อมแซมปรับปรุงถนนนอกจากจะต้องการงบประมาณในการดำเนินการที่สูงแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อระบบการคมนาคมอีกด้วย เป็นเหตุให้เกิดการชะลอตัวของการพัฒนา และกระทบถึงคุณภาพความเป็นอยู่ ดังนั้นในมุมมองของการพัฒนาวัสดุและระบบการขนส่งอย่างยั่งยืนนั้นจำเป็นที่จะต้องพัฒนาทางเลือกอื่นเพื่อลดสัดส่วนการใช้วัสดุบิทูเมนที่กำลังจะหมดลงเป็นผลผลิตจากการกลั่นน้ำมันดิบที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งในงานวิจัยที่ผ่านมาของกรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบทได้มีการนำเม็ดพลาสติกเข้ามาเป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อลดอัตราส่วนการใช้แอสฟัลต์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม และเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของถนน ทำให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในงานทางทั้งส่วนของชั้นโครงสร้างและผิวทาง [6]

เป็นที่ทราบกันดีว่าในปัจจุบันไมโครพลาสติกเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่กำลังส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงกับระบบนิเวศของทั้งมนุษย์และสัตว์ การรีไซเคิลจึงถือเป็นแนวทางหนึ่งในการรับมือกับปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพ โดยจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวัสดุพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ รวมถึงเศษพลาสติกสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุทางได้อย่างมี

นัยสำคัญและทำให้เกิดการรีไซเคิลวัสดุเหลือใช้หลายประเภท [14]

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เศษพลาสติก รีไซเคิลเพื่อทดแทนวัสดุบิทูเมนและเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุทางสามารถพัฒนาคุณภาพของงานทาง ส่งผลดีต่อระบบขนส่ง และสามารถจัดการกับปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วย

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักประกอบด้วย 3 ข้อ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมกับพลาสติกกรีไซเคิล
2. เพื่อหาขนาดและอัตราส่วนที่เหมาะสมของพลาสติกกรีไซเคิลเพื่อใช้ผสมกับแอสฟัลต์สำหรับปรับปรุงคุณสมบัติ
3. เพื่อศึกษาและขยายองค์ความรู้ด้านวัสดุงานทางที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

3. ทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานเศษพลาสติกกรีไซเคิลเพื่อปรับปรุงวัสดุทาง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎี งานวิจัย และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวัสดุทางโดยใช้วัสดุผสมเพิ่มต่างๆ

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการสืบค้นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุทางและพลาสติกกรีไซเคิลสำหรับงานทาง ดังนี้

3.1.1 วัสดุทาง

ในปัจจุบันผิวทางของถนนแบ่งเป็นสองชนิด ได้แก่ ผิวทางแบบแข็ง (Rigid Pavement) เป็นผิวทางที่ใช้คอนกรีตเป็นวัสดุซึ่งมีความคงทนแต่มีราคาในการก่อสร้างที่สูง และผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement) หรือผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างซึ่งมี

ราคาในการก่อสร้างที่ต่ำกว่าแต่ยังคงมีความทนทานและอายุการใช้งานที่น้อยกว่าผิวทางแบบคอนกรีต โดยในปัจจุบันถนนในประเทศไทยส่วนใหญ่มีอัตราส่วนของถนนแบบแอสฟัลต์คอนกรีตมากกว่าถนนคอนกรีตเนื่องจากค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการก่อสร้างที่ต่ำกว่า การใช้งานที่สั้นไหลกว่าถนนคอนกรีต [2]

แอสฟัลต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบซึ่งจัดเป็นวัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติกมีคุณสมบัติในการยึดสูง ในอุณหภูมิปกติจะมีลักษณะแข็ง แข็ง เหนียวเหนียว เป็นสีดำ และเมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นของไหล มีคุณสมบัติในการทนกรดและด่างอ่อนๆ จึงทำให้สามารถนำมาใช้งานได้หลากหลาย เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นตัวประสานหรือยึดเกาะวัสดุในงานทางได้ดี สามารถกำหนดประสิทธิภาพเชิงกายภาพของวัสดุเชื่อมประสานได้ตามมาตรฐานที่เป็นสากล จึงนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานในการก่อสร้างถนน [10]

3.1.2 พลาสติกรีไซเคิล

พลาสติก คือ สารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆ เป็นส่วนประกอบย่อยถือว่าเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตต่ำจึงนิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง มีแนวโน้มการใช้งานในด้านอื่นๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งพลาสติกส่วนใหญ่เมื่อไม่ได้ใช้งานแล้วจะกลายเป็นขยะพลาสติกที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม [1]

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าถนนพลาสติก (Plastic Road) คือการนำพลาสติกชนิดต่างๆ มาทำการหลอมรวมกับแอสฟัลต์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้กับแอสฟัลต์คอนกรีตมีกำลังรับน้ำหนักและอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ซึ่งถือเป็นวัสดุทางเลือกที่มีประสิทธิภาพอีกทางหนึ่ง เนื่องจากในปัจจุบันปัญหาขยะพลาสติกที่กำลังเกิดทวีความรุนแรงมากขึ้นกว่าในอดีต

และเป็นที่น่าสนใจของสังคมในวงกว้าง จากการศึกษาพบว่าประเทศไทยมีขยะพลาสติกเฉลี่ยห้าพันสามร้อยตันต่อวัน จากข้อมูลขององค์การปกครองส่วนท้องถิ่น อีกทั้งงานวิจัยล่าสุดเผยว่าพลาสติกขนาดเล็ก (Micro Plastic) ยังปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร และอาจมีโอกาสร้อนกลับมาสู่ร่างกายของมนุษย์ซึ่งเป็นต้นเหตุของสารก่อมะเร็งและโรคภัยอื่นๆ ได้อีกด้วย [7]

3.1.3 ถนนพลาสติก

ในการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตแบบปกตินั้นจะเป็นการนำวัสดุที่ผสมระหว่างมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์ทำการฉีดพ่นลงบนชั้นผิวทางที่ทำการเตรียมไว้แล้ว ซึ่งแตกต่างจากถนนพลาสติกรีไซเคิลที่มีการใช้พลาสติกรีไซเคิลชนิดต่างๆ เพิ่มเข้ามาในกระบวนการก่อสร้าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุงานทาง อีกทั้งยังเป็นการนำขยะพลาสติกมาหมุนเวียนใช้ซ้ำเพื่อเพิ่มมูลค่าตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ปัจจุบันได้มีความร่วมมือกันของภาคเอกชนระหว่าง กลุ่มบริษัท ดาว ประเทศไทย และเอสซีจี มีการศึกษาและก่อสร้างถนนพลาสติกต้นแบบ ณ นิคมอุตสาหกรรมอาร์ไอแอล จังหวัดระยอง โดยจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าถนนพลาสติกที่มีส่วนผสมของขยะพลาสติกรีไซเคิล เช่น พลาสติกหิ้ว ถุงใส่อาหาร สามารถปรับปรุงคุณสมบัติความแข็งแรงของถนนเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 - 30 และมีประสิทธิภาพการยึดเกาะเพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 6 โดยในอนาคตมีแผนที่จะดำเนินการนำร่องเพิ่ม ซึ่งคาดการณ์จากการวิเคราะห์ถนนต้นแบบว่าจะสามารถนำขยะรีไซเคิลได้กว่า 1.3 ล้านตัน

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกศึกษาโดยใช้พลาสติกประเภท PET เป็นพลาสติกชนิดแข็ง ใส มักพบในรูปแบบของขวดน้ำดื่ม จากประเภทของพลาสติกที่มีในปัจจุบันอยู่ 7 ประเภท เนื่องจากเป็นขยะพลาสติกที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิต และมีความนิยมใช้งานในกิจกรรมที่หลากหลาย

ทั้งนี้ถนนพลาสติกต้นแบบ ณ นิคมอุตสาหกรรมอาร์ไอแอล จังหวัดระยอง ใช้การผสมพลาสติกโดยไม่จำกัดชนิดของพลาสติกและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน คือ ใช้การย่อยขนาดของพลาสติกให้เล็กลงจากนั้นนำไปผสมกับแอสฟัลต์ในลักษณะของมวลรวม (ภาพที่ 1) ผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าการใช้พลาสติกต่างชนิดกันจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่แตกต่างกันเนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของพลาสติกแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน อาทิ การซึมผ่านของของเหลวและก๊าซ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้พลาสติกประเภท PET ในการศึกษา และใช้วิธีการผสมที่แตกต่างกัน โดยใช้การผสมร้อนพลาสติกร่วมกับแอสฟัลต์จากนั้นจึงนำไปผสมกับมวลรวมเมื่อต้องการใช้งาน เพื่อให้ได้แอสฟัลต์พลาสติกที่สามารถปรับใช้ได้เหมาะสมกับทุกพื้นที่



ภาพที่ 1 การผสมแอสฟัลต์คอนกรีตกับถุงพลาสติกรีไซเคิล

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงวัสดุทางต่างๆ โดยการใช้วัสดุผสมเพิ่มนั้นสามารถส่งผลกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุทางได้อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังเป็นการจัดการกับเศษวัสดุเหลือใช้

เวชสุวรรณค์ หล้ากาศ (2561) ได้ทำการศึกษากการประยุกต์ใช้แอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อทำการแก้ปัญหาขยะในชุมชนด้วยการสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตจากขยะพลาสติกที่คัดแยก ทำการทดสอบด้วยวิธีมาร์แชลล์ พบว่าขยะพลาสติกสามารถเพิ่มค่าเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตได้สูงถึง 21.8 kN มากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตแบบปกติที่มีค่า 10.8 kN

Johnson (2017) ทำการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาหลักสองเรื่องในประเทศกานา คือการจัดการกับปัญหาขยะและปัญหาผิวทางเป็นหลุมเป็นบ่อ โดยได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของพลาสติก HDPE และ พลาสติก PP ต่อ แอสฟัลต์เกรด AC 10 - 20 ที่อุณหภูมิ 160 - 170 °C และเรียกวัดคุณสมบัติ Polymer Modified Bitumen (PMB) พบว่าค่าการทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นกราฟเส้นตรงจากการเพิ่มอัตราส่วนวัสดุผสมเพิ่ม อัตราส่วนที่เหมาะสมของพลาสติก HDPE อยู่ที่ร้อยละ 2 - 3 และพลาสติก PP ที่ร้อยละ 3

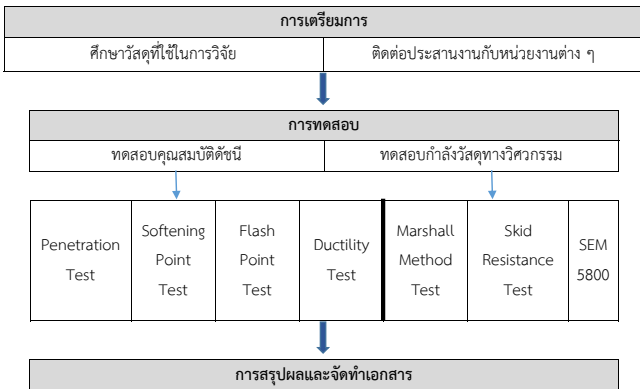
Dalhat (2016) ได้ทำการศึกษาวัสดุประเภท Recycled Plastic Bounded Concretes (RPBCs) ในการวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ RPBCs เทียบกับซีเมนต์และแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่า RPBCs บางอัตราส่วนมีกำลังใกล้เคียงซีเมนต์และแอสฟัลต์ อีกทั้งมีค่าการต้านทานความชื้นและต้านการแตกร้าวดี ค่าความแข็งแรงและการตัดมีค่ามากกว่าซีเมนต์ 3 เท่า

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ ข้างต้นคณะผู้วิจัยสังเกตเห็นประโยชน์ในการศึกษาผลของเศษพลาสติก PET เพื่อใช้สำหรับงานทางเพื่อพัฒนาระบบคมนาคมอย่างยั่งยืนยิ่งขึ้นไป

4. กรอบการดำเนินการวิจัย

4.1 วิธีการศึกษา

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต การใช้พลาสติกในงานทางและข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างทาง เช่น กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท หน่วยทหารช่าง ขั้นตอนการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กรอบการดำเนินงานวิจัย

ในการเตรียมเศษพลาสติกกรีไซเคิล ได้จากการเก็บรวบรวมจากขวดน้ำดื่มชนิดใสที่ผ่านการใช้งานแล้วนำมาล้างทำความสะอาดและตัดแต่งให้ได้ขนาดตามที่กำหนด และในส่วนของแอสฟัลต์คอนกรีตผู้วิจัยใช้แอสฟัลต์ชนิด AC 60 - 70 (ข้อกำหนด ทล.-ก. 401/2531) ซึ่งเป็นแอสฟัลต์ที่ใช้ในการก่อสร้างทางในประเทศไทยเนื่องจากมีความเหมาะสมทั้งด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรมและการใช้งานกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

จากนั้นผู้วิจัยจะทำการทดสอบค่าเพเนทรชัน เพื่อบำแนกชนิดของแอสฟัลต์ที่ผ่านการผสมกับพลาสติกกรีไซเคิล โดยผู้วิจัยจะทำการทดสอบแอสฟัลต์ 5 อัตราส่วน โดยผสมกับพลาสติกกรีไซเคิลที่อัตราส่วนและขนาดต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งในขั้นตอนการผสมจะทำการหลอมแอสฟัลต์ที่อุณหภูมิประมาณ 140 - 160 °C เมื่อแอสฟัลต์หลอมละลายแล้วจะทำการเพิ่มส่วนของพลาสติกลงไปทีละน้อยจนหมด โดย PET ใช้เวลาในการหลอมละลายประมาณ 90 - 120 นาที ขึ้นกับอัตราส่วนของพลาสติก

ขั้นถัดไปทำการทดสอบจุดอ่อนตัว จุดยึดตัวเพื่อศึกษาอุณหภูมิที่ทำให้ความชื้นเหลวของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป และทดสอบจุดวาบไฟและจุดติดไฟเพื่อตรวจสอบความปลอดภัยในการใช้งานจากสถานะที่มีอุณหภูมิสูงเพื่อป้องกันการติดไฟเมื่อทำการก่อสร้างจริง อีกทั้งเพื่อทราบค่าอุณหภูมิที่ปลอดภัยในการใช้งานถนนในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้หรืออื่นๆ [4]

เมื่อทราบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่ผสมแล้วทำการบดอัดก้อนตัวอย่างตามมาตรฐานการทดสอบโดยวิธีมาร์แชล (ภาพที่ 3) เพื่อหาค่าการไหล ค่าเสถียรภาพและนำก้อนตัวอย่างไปใช้ทดสอบค่าการต้านทานการลื่นไหล เพื่อศึกษาความปลอดภัยในการใช้งานถนนในสภาวะที่เกิดน้ำขังหรือผิวทางลื่น [9]



ภาพที่ 3 เครื่องมือทดสอบค่าเสถียรภาพด้วยวิธีมาร์แชล

จากนั้นทำการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (ภาพที่ 4) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิว Micro Texture และ Macro Texture ของแอสฟัลต์ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อผสมกับเศษพลาสติก PET ตามอัตราส่วนที่กำหนด



ภาพที่ 4 เครื่องมือทดสอบ SEM 5800

ตารางที่ 1 อัตราส่วนแอสฟัลต์ต่อเศษพลาสติก PET ที่ทดสอบ

Sample No.	AC : PET ratio (by weight)	
	AC 60 - 70	PET
1	100	0
2	95	5
3	90	10
4	85	15
5	80	20

4.1 การทดสอบที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ได้มีการทดสอบที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การทดสอบการจิ้มด้วยเข็ม, การทดสอบจุดอ่อนตัว, การทดสอบการยึดตัว, การทดสอบจุดวับไฟและจุดติดไฟ, การทดสอบด้วยวิธีมาร์แชลล์, การทดสอบการต้านทานการลื่นไถล และการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยได้แสดงรายละเอียดไว้พอสังเขปดังนี้ [6]

4.1.1 การทดสอบการจิ้มด้วยเข็ม

การทดสอบการจิ้มด้วยเข็มเป็นวิธีการทดสอบการวัดความชันเหลวของแอสฟัลต์โดยการหาค่าเพนเทรชันหรือระยะจมของเข็ม เพื่อทราบสภาพของเนื้อวัสดุแอสฟัลต์เป็นของแข็งหรือกึ่งแข็ง ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ข้อกำหนด ASTM : D5-73 เป็นเกณฑ์สำหรับทดสอบ

4.1.2 การทดสอบจุดอ่อนตัว

จุดอ่อนตัวคืออุณหภูมิที่เปลี่ยนไปโดยส่งผลต่อค่าความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพของวัสดุแอสฟัลต์ ให้เปลี่ยนแปลงสภาพโดยใช้ข้อกำหนด ASTM : D2398-76 เป็นเกณฑ์สำหรับทดสอบ

4.1.3 การทดสอบการยึดตัว

คุณสมบัติการยึดตัวของแอสฟัลต์ คือ ความสามารถของแอสฟัลต์ที่จะแสดงถึงการต้านทานการเปลี่ยนสภาพของวัสดุจากพลาสติกไปเป็นแข็งกระด้างโดยใช้ข้อกำหนด ASTM : D113-69 เป็นเกณฑ์การทดสอบ

4.1.4 การทดสอบการจุดวับไฟและจุดติดไฟ
แอสฟัลต์เมื่อได้รับความร้อนในอุณหภูมิที่สูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นไอและระเหิดออกมา เมื่อสัมผัสกับเปลวไฟก็จะทำให้เกิดไฟประกายไฟที่วับขึ้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายขณะใช้งาน ดังนั้นการทดสอบหาจุดวับไฟจึงมีความสำคัญที่จะหาอุณหภูมิที่ไม่ทำให้เกิดประกายไฟในขณะทำการให้ความร้อนแอสฟัลต์เวลาผสมโดยใช้ข้อกำหนด ASTM : D92-77 เป็นเกณฑ์สำหรับทดสอบ

4.1.5 การทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

เป็นการทดสอบหาเสถียรภาพ, การไหล และความหนาแน่น (Stability, Flow and Density) โดยวิเคราะห์ความหนาแน่นกับช่องว่างภายในส่วนผสมของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้เกณฑ์ ASTM : D1559-76 เป็นเกณฑ์ในการทดสอบ

4.1.6 การทดสอบความต้านทานการไถลของผิวจราจร

ผิวจราจรนั้นชั้นบนสุดของผิวจะถูกการเสียดสีและขรุขระเนื่องจากวัสดุมวลรวมหลุดจากตัวผิวหรือขรุขระเสื่อมสภาพเนื่องจากการใช้งาน ทำให้ความเสียดทานของถนนลดลงอาจเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายในการใช้งานในการทดสอบค่าความเสียดทานของผิวทาง ได้มีเครื่องมือทดสอบในปัจจุบันอยู่หลายชนิด โดยขึ้นอยู่กับวิธีการและความเหมาะสมในการทดสอบบริเวณหน้างานจริง ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกเครื่องมือชนิดเครื่องมือแบบพกพา British Pendulum Tester ซึ่งเป็นเครื่องมือที่กรมทางหลวงใช้งานในปัจจุบัน โดยมาตรฐานการทดสอบ ASTM E 303 ให้ผลการทดสอบแสดงเป็นค่า BPN (British Pendulum Number) [9]

4.1.7 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพื้นผิวของเซลล์หรือตัวอย่างวัตถุที่ต้องการศึกษา เป็นการถ่ายภาพพื้น

ผิวภายนอกของวัสดุที่กำลังขยาย 3,000 เท่า โดยลำแสงอิเล็กตรอนจะส่องกราดไปบนผิวของวัตถุ ทำให้ได้ภาพซึ่งมีลักษณะเป็นภาพ 3 มิติ สามารถช่วยในการวิเคราะห์หาขนาดและปริมาณส่วนประกอบในวัสดุ และแสดงแผนภาพการกระจายตัวของมวลรวมได้ โดยในการวิจัยเลือกใช้การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิด SEM5800 จากการทดสอบที่เกี่ยวข้องทั้ง 7 การทดสอบ ผู้วิจัยได้แสดงมาตรฐานการทดสอบเพื่อใช้เป็นวิธีการและเกณฑ์สำหรับงานวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มาตรฐานการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย

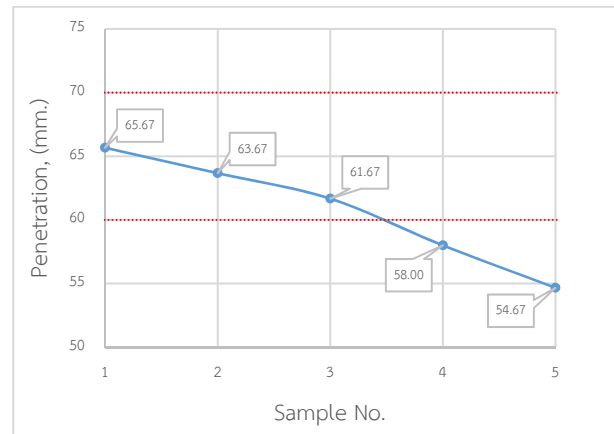
การทดสอบ	มาตรฐาน
การทดสอบการจุ่มด้วยเข็ม	ทล.-ท. 403/2518
การทดสอบจุดอ่อนตัว	ทล.-ท. 412/2522
การทดสอบการยืดตัว	ทล.-ท. 405/2519
การทดสอบจุดวาบไฟ	ทล.-ท. 406/2519
การทดสอบด้วยวิธีมาร์แชล	ทล.-ท. 604/2517
การทดสอบการต้านทานการสึกกร่อน	ทล.-ท. 413/2544

5. ผลการศึกษา

จากการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตตามวิธีการและมาตรฐานของกรมทางหลวงอ้างอิงมาตรฐาน ASTM ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

5.1 ผลการทดสอบการจุ่มด้วยเข็ม

เพเนเทรชัน (Penetration) หรือค่าระยะจมของเข็มที่ได้จากการทดสอบการจุ่มด้วยเข็ม ทำให้สามารถแบ่งประเภทของแอสฟัลต์ได้ โดยแอสฟัลต์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นแอสฟัลต์ชนิด AC 60 - 70 ซึ่งจะต้องมีค่าเพเนเทรชันอยู่ระหว่างช่วง 60 - 70 มม. ซึ่งหลังจากผสมพลาสติก PET ลงในแอสฟัลต์แล้ว ผลการทดสอบการจุ่มด้วยเข็มเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในภาพที่ 5



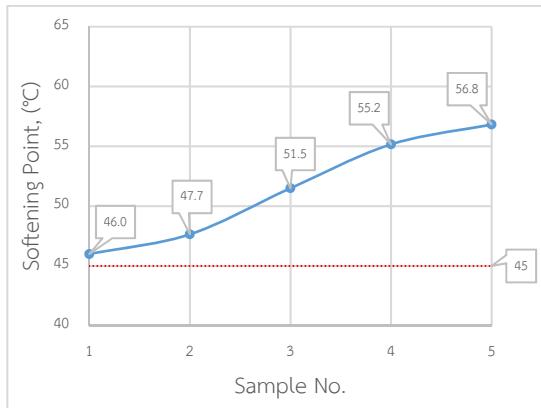
ภาพที่ 5 ผลการทดสอบการจุ่มด้วยเข็มของตัวอย่างแอสฟัลต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET

เมื่อทำการทดสอบค่าเพเนเทรชันพบว่า แอสฟัลต์ที่ไม่ได้ผสมพลาสติกมีระยะจมของเข็มอยู่ที่ประมาณ 65 มม. และลดต่ำลงที่ประมาณ 54 มม. ของอัตราส่วนเศษพลาสติกที่ร้อยละ 20 ทำให้ค่าเพเนเทรชันลดลงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวง ซึ่งจะต้องมีค่าเพเนเทรชันอยู่ระหว่าง 60 ถึง 70 ทั้งนี้ค่าเพเนเทรชันไม่ได้เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความแข็งแรงของถนนแต่เป็นค่าที่ใช้เพื่อตรวจสอบชนิดของแอสฟัลต์ ซึ่งมาตรฐานงานทางในประเทศไทยในอดีตได้เคยใช้แอสฟัลต์ชนิด AC 70 - 80 มาก่อนจะเปลี่ยนแปลงมาเป็นแอสฟัลต์ชนิด AC 60 - 70 ที่ใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากสภาพภูมิอากาศและการใช้งานถนนที่เปลี่ยนแปลงไป โดยมีแนวโน้มว่าในอนาคตอาจมีการเปลี่ยนแปลงชนิดของแอสฟัลต์เป็น AC 50 - 60

5.2 ผลการทดสอบจุดอ่อนตัว

ในการทดสอบจุดอ่อนตัวนั้นสามารถทำให้ทราบค่าอุณหภูมิที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพ โดยผลการทดสอบที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานจะต้องไม่ต่ำกว่า 50 °C ซึ่งจากการทดสอบพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเศษพลาสติกทำให้อุณหภูมิจุดอ่อนตัวมีค่าสูงขึ้น ดังภาพที่ 6 โดยค่าจุดอ่อนตัวที่ได้จากการทดสอบมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเศษ ค่าอุณหภูมิจุดอ่อนตัวเพิ่มขึ้นจาก 42.0 °C ที่ชุดการทดสอบที่ 1 (PET ร้อยละ 0)

ไปเป็น 56.8 °C ที่อัตราส่วนเศษพลาสติกร้อยละ 20 อุณหภูมิจุดอ่อนตัวที่สูงขึ้นทำให้ถนนแอสฟัลต์คอนกรีตสามารถทนกับสภาพภูมิอากาศที่สูงขึ้นก่อนจะเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลว ซึ่งมีผลทำให้ถนนมีความทนทานเพิ่มขึ้นนั่นเอง

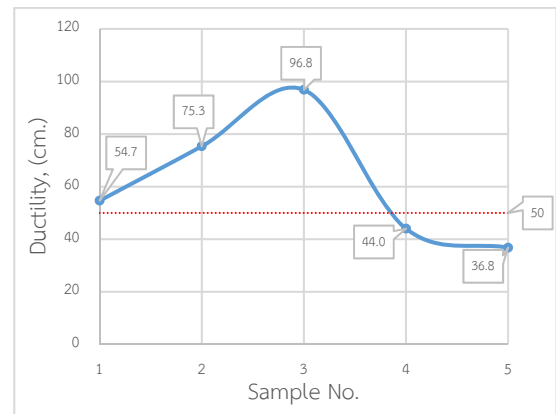


ภาพที่ 6 ผลการทดสอบจุดอ่อนตัวของตัวอย่างแอสฟัลต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET

5.3 ผลการทดสอบการยึดตัว

การยึดตัวของแอสฟัลต์แสดงถึงความสามารถที่จะต้านทานการเปลี่ยนสภาพของวัสดุจากพลาสติกไปเป็นของแข็งที่มีความกระด้าง ผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 50 ซม.

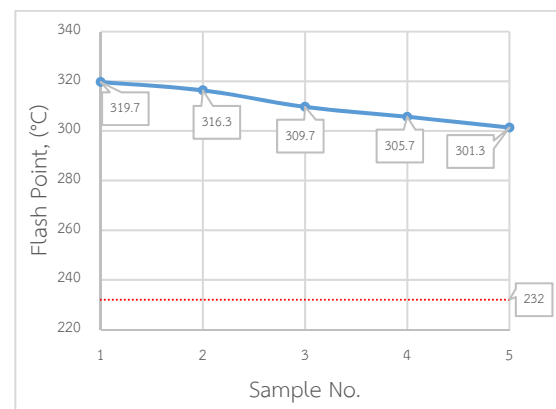
ในการผสมพลาสติกกับแอสฟัลต์คอนกรีตทำให้จุดอ่อนตัวที่ได้มีค่าสูงขึ้นแปรผันตรงกับอัตราส่วนของพลาสติก แต่จากการทดสอบการยึดตัวนั้นแตกต่างออกไปโดยค่าการยึดตัวมีค่าเหมาะสมที่อัตราส่วนพลาสติกที่ร้อยละ 10 ซึ่งให้การยึดตัวสูงที่สุด และลดต่ำลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนพลาสติกที่ร้อยละ 15 และ 20 โดยลดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้งานของกรมทางหลวงดังแสดงในภาพที่ 3 โดยมีค่าการยึดตัวสูงสุดที่ 96.8 ซม.



ภาพที่ 7 ผลการทดสอบการยึดตัวของตัวอย่างแอสฟัลต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET

5.4 ผลการทดสอบจุดวาบไฟ

ในการใช้งานแอสฟัลต์คอนกรีตย่อมไม่อาจหลีกเลี่ยงสภาพอากาศที่หลากหลาย รวมไปถึงอุณหภูมิที่สูงจากการใช้งานกลางแจ้ง ดังนั้นผลการทดสอบจุดวาบไฟจึงมีมาตรฐานอยู่ที่ไม่ต่ำกว่า 232 °C โดยจากการศึกษาดังภาพที่ 8 พบว่า เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนเศษ PET ทำให้ค่าจุดวาบไฟลดลง แต่ยังคงผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบ



ภาพที่ 8 ผลการทดสอบวาบไฟของตัวอย่างแอสฟัลต์ที่ผสมกับเศษพลาสติก PET ที่อัตราส่วนต่างๆ

อุณหภูมิของจุดวาบไฟที่ลดลงจึงเป็นแนวโน้มที่จำเป็นจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากการติดไฟของวัสดุทางอากาศก่อให้เกิดความเสียหายเป็นวงกว้างเมื่อเกิดอุบัติเหตุ ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบความปลอดภัยเพิ่มเติม

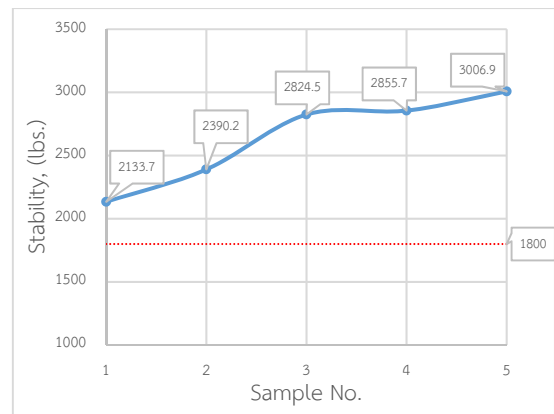
5.5 ผลการทดสอบด้วยวิธีมาร์แชล

ในการก่อสร้างถนนโดยทั่วไปจะใช้ค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตในการออกแบบส่วนผสมและความแข็งแรงโดยมาตรฐานของแอสฟัลต์ AC อยู่ที่ไมต่ำกว่า 1,800 ปอนด์ และโมดิฟายแอสฟัลต์มีมาตรฐานที่ไมต่ำกว่า 2,200 ปอนด์ โดยค่าเสถียรภาพนั้นได้จากการทำการทดสอบด้วยวิธีมาร์แชล อีกทั้งยังทำให้ทราบปัจจัยอื่นๆ เช่น ค่าการไหล ซึ่งมีมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างที่ 7 – 18 มม. ความหนาแน่นของถนนซึ่งมาตรฐานกำหนดไว้ที่ไมต่ำกว่า 2.200 ตัน./ม.3

ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีมาร์แชลที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้การออกแบบส่วนผสมมาร์แชลจากวัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์จากกรมทางหลวงเพื่อศึกษาผลของพลาสติกที่มีต่อแอสฟัลต์คอนกรีต

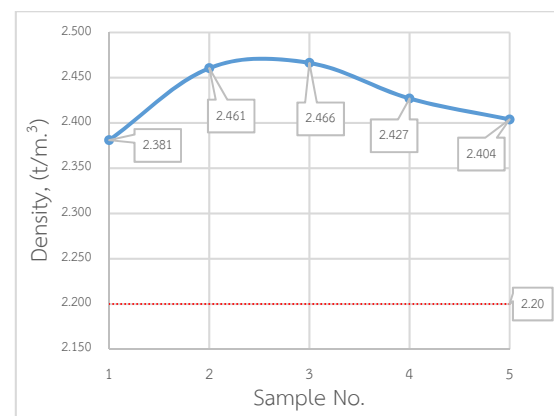
หลังจากผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตในอัตราส่วนต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ด้วยวิธีมาร์แชล พบว่าค่าเสถียรภาพและความหนาแน่นที่ได้จากการผสมพลาสติกเพิ่มในก้อนตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของพลาสติกขึ้น ค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยยังส่งผลถึงค่าการไหลและความหนาแน่นอีกด้วย

โดยปกติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้งานจะมีค่าการทดสอบอยู่ที่ประมาณ 2,000 – 2,200 ปอนด์ ทั้งนี้เมื่อทำการทดสอบดังผลการทดสอบแสดงในภาพที่ 9 พบว่าค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับแอสฟัลต์แบบปกติ โดยสูงสุดที่ประมาณ 3,000 ปอนด์ ที่อัตราส่วนเศษพลาสติกร้อยละ 20 หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 เท่าของแอสฟัลต์ปกติ



ภาพที่ 9 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมเศษพลาสติก PET

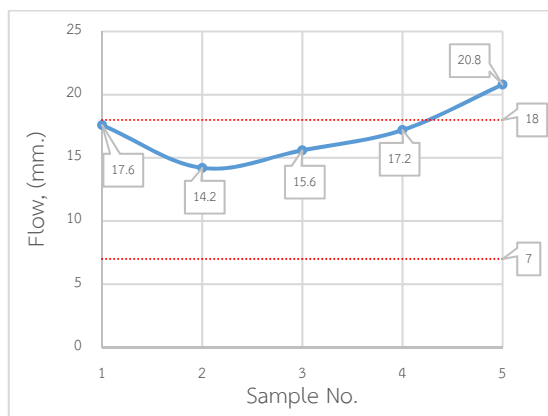
จากการทดสอบแอสฟัลต์ด้วยวิธีมาร์แชลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ผสมเศษพลาสติก PET นั้น เมื่อทำการชั่งน้ำหนักแห้งและน้ำหนักเปียกเพื่อทำการหาความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างซึ่งก้อนตัวอย่างที่ความหนาแน่นมากที่สุดดังผลการทดสอบแสดงในภาพที่ 10 คือก้อนตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมของพลาสติกที่ร้อยละ 20 อีกทั้งยังให้ค่าเสถียรภาพที่สูงที่สุดอีกด้วย แต่ในแง่ของค่าการไหล ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 ยังให้ค่าการไหลที่สูงเกินกว่าค่าการใช้งานที่เหมาะสม ซึ่งในส่วนของค่าเสถียรภาพและค่าการไหล มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของพลาสติกที่ผสมเพิ่มดังภาพที่ 11



ภาพที่ 10 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมเศษพลาสติก PET

ในการทดสอบแอสฟัลต์โดยวิธีมาร์แชลล์นั้นยังทำให้ทราบค่าการไหล (Flow) ดังภาพที่ 11 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ตรวจสอบความเหมาะสมในการทำงานของแอสฟัลต์ในการบดอัดเพื่อทำถนน ซึ่งค่าการไหลที่มากหรือน้อยเกินไปทำให้การบดอัดถนนในขั้นตอนการก่อสร้างหน้างานเป็นไปได้ยาก

โดยการทดสอบพบว่าค่าการไหลที่อัตราส่วนพลาสติกร้อยละ 5 10 และ 15 อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้งานได้ แต่เมื่อใช้อัตราส่วนพลาสติกที่ร้อยละ 20 ค่าการไหลเพิ่มสูงถึงประมาณ 20 ซึ่งมีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการบดอัดถนนในขั้นตอนการก่อสร้างทำได้ยากเนื่องจากแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมแล้วจะไม่อยู่ตัวมีความเหลวมากเกินไป และอาจเกิดร่องล้อได้เมื่อมีการเปิดใช้ถนนจริง

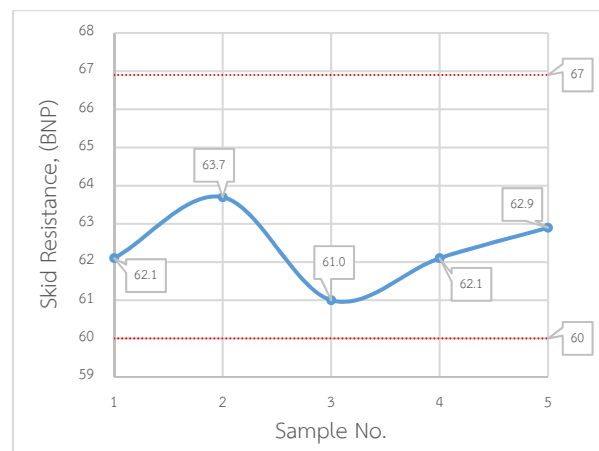


ภาพที่ 11 ผลการทดสอบค่าการไหลของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมเศษพลาสติก PET

ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ทดสอบมีค่าเกินกว่า 2.400 ตัน./ม.3 ดังภาพที่ 10 ซึ่งมีค่าที่เพิ่มขึ้นมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไป แต่ค่าความหนาแน่นที่สูงที่สุดอยู่ที่ 2.466 ตัน./ม.3 ที่อัตราส่วนพลาสติกร้อยละ 10 และลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนพลาสติก โดยค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับการก่อสร้างถนนอยู่ที่ไม่ต่ำกว่า 2.200 ตัน./ม.3

5.6 ผลการทดสอบการต้านทานการลื่นไถล

ความต้านทานการลื่นไถลนั้นเป็นค่าที่สำรวจเพื่อความปลอดภัยของการใช้งานถนน การยึดเกาะถนนของยานพาหนะ และความเสียหายที่มีผลโดยตรงกับระยะหยุดรถโดยเฉพาะในสภาวะฉุกเฉินหรือเมื่อพื้นผิวทางมีความลื่นทั้งจากสภาพอากาศหรืออุบัติเหตุอื่นๆ โดยการทดสอบพบว่าก้อนตัวอย่างที่ผสมเศษพลาสติกที่อัตราส่วนต่างๆ นั้น ให้ค่าการต้านทานการลื่นไถลที่ไม่สัมพันธ์กับอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของเศษพลาสติกที่ผสม กล่าวคือการผสมเศษ PET กับแอสฟัลต์คอนกรีตไม่ทำให้พื้นผิวถนนเกิดความลื่นเพิ่มขึ้น โดยผลการทดสอบก้อนตัวอย่างที่ไม่มีพลาสติก ได้ผลการทดสอบที่ 62.1 BPN ซึ่งใกล้เคียงกับที่อัตราส่วน AC:PET 80:20 ที่ 62.9 BPN

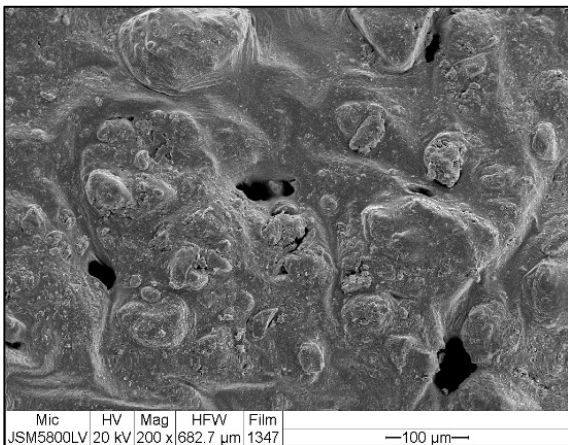


ภาพที่ 12 ผลการทดสอบการหาค่าการต้านทานการลื่นไถลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมเศษพลาสติก PET

จากนั้นผู้วิจัยได้ทดสอบกับถนนแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไปได้ค่าการทดสอบประมาณ 60 และ 67 BPN ดังผลการทดสอบแสดงในภาพที่ 12 การทดสอบการหาค่าความต้านทานการลื่นไถลโดยวิธี British Pendulum Tester ให้ผลการทดสอบว่าการใช้เศษพลาสติกผสมกับแอสฟัลต์คอนกรีตไม่มีผลกับค่าความต้านทานการลื่นไถลของถนนแอสฟัลต์คอนกรีต

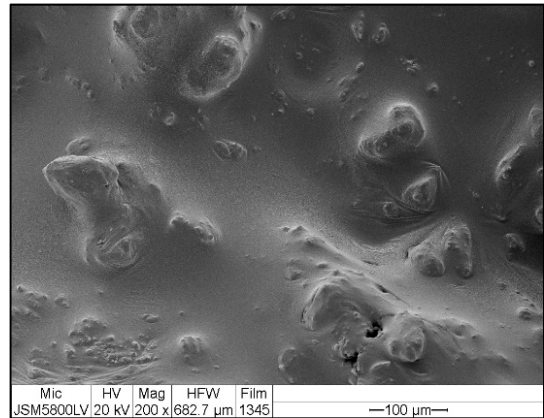
5.7 การทดสอบ SEM 5800

ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 10 และ 20 เพื่อทำการทดสอบการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิด SEM 5800 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนผสมที่มีความเหมาะสม มีค่าเสถียรภาพที่สูงขึ้น ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่ดี จึงเลือกตัวอย่างดังกล่าวเพียงสองตัวอย่างไปทำการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยจากการทดสอบ SEM 5800 พบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสมพลาสติกน้อยกว่าจะมีพื้นผิวที่หยาบและรอยแตกร้าวระหว่างวัสดุมวลรวมที่มากกว่า โดยอัตราส่วนเศษพลาสติก PET ที่ร้อยละ 10 แสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ก้อนตัวอย่าง Sample No. 3 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า

ผลการทดสอบที่กำลังขยาย 200 เท่า ทำให้ทราบว่า พื้นผิวของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมเศษพลาสติกร้อยละ 20 (ภาพที่ 14) มีความเรียบของผิววัสดุแตกต่างกันกับที่ก้อนตัวอย่างที่มีอัตราส่วนเศษพลาสติกน้อยกว่าอย่างชัดเจน โดยแอสฟัลต์ที่ผสมเศษพลาสติกมากกว่าจะเคลือบพื้นผิวของวัสดุมวลรวมได้อย่างเรียบเนียนกว่า



ภาพที่ 14 ก้อนตัวอย่าง Sample No. 5 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า

แต่ทั้งนี้การเคลือบของแอสฟัลต์ที่เรียบเนียนนั้นไม่ได้ส่งผลกับค่าความต้านทานการลื่นไถลเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบหาค่าการต้านทานการลื่นไถล แต่การที่วัสดุมวลรวมมีพื้นผิวที่เรียบเนียนส่งผลกับค่ากำลังรับแรง เนื่องจากการเรียงตัวของวัสดุมวลรวมและคุณสมบัติทางวิศวกรรมอื่นๆ ตามที่ได้ทดสอบไปแล้ว

5.8 สรุปผลการทดสอบในงานวิจัย

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการนำแอสฟัลต์ชนิด AC 60 - 70 ผสมกับ เศษพลาสติก PET ที่อัตราส่วนร้อยละ 0 - 20 โดยทำการทดสอบต่างๆ ทั้งสิ้น 6 การทดสอบ ได้ผลการทดสอบดังแสดงสรุปในตารางที่ 3 ประกอบด้วย 1.การทดสอบหาค่าเพนแทรกชั่น (Penetration) 2.การหาค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point) 3.การหาค่าจุดวาบไฟ (Flash Point) 4.การหาค่าการยืดตัว (Ductility) 5.การทดสอบด้วยวิธีมาร์แชล (Marshall's Method) 6.การทดสอบการต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance)

จากการทดสอบทางวิศวกรรมทั้ง 6 การทดสอบได้นำมาสรุปเพื่อเปรียบเทียบและศึกษา พบว่าอัตราส่วนเศษพลาสติกที่ผสมเพิ่มในแอสฟัลต์คอนกรีตที่อัตราส่วนต่างๆ ทำให้คุณสมบัติของแอสฟัลต์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไป โดยอัตราส่วนที่ผ่านการทดสอบทุกเกณฑ์มาตรฐานของ

กรมทางหลวงคือที่อัตราส่วนพลาสติกร้อยละ 0, 5 และ 10 โดยให้เสถียรภาพเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 32

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบแอสฟัลต์ผสมกับเศษพลาสติก PET ที่อัตราส่วนต่างๆ

Testing		Sample No. (AC:PET)				
		1 (1 00: 0)	2 (9 5:5)	3 (9 0:1 0)	4 (8 5:1 5)	5 (8 0:2 0)
1.Penetration	(mm.)	65.	63.	61.	*5	*5
		67	67	67	8.0	4.6
2.Softening Point	(°C)	46.	47.	51.	55.	56.
		00	65	50	17	83
3.Flash Point	(°C)	31	31	30	30	30
		9.7	6.3	9.7	5.7	1.3
4.Ductility	(cm.)	54.	75.	96.	*4	*3
		67	33	83	4.0	6.7
5.Marshall's Method						
-Stability	(lbs.)	21	23	28	28	30
		33	90	24	55	06
-Flow	(mm.)	17.	14.	15.	17.	*2
		6	2	6	2	0.8
-Density	(g/ml. 3)	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4
		81	61	66	27	04
6.Skid Resistance	(BPN)	62.	63.	61.	62.	62.
		1	7	0	1	9

*ผลการทดสอบที่ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวง

อัตราส่วนผสมเศษพลาสติกที่ร้อยละ 15 และ 20 ได้ค่าผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของการทดสอบหาค่าเพเนทรชัน การทดสอบจุดยึดตัว และค่าการไหลจากการทดสอบด้วยวิธีมาร์แชลล์ ที่ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวง ทั้งนี้การใช้เกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงนั้นมีเพื่อควบคุมคุณสมบัติของวัสดุก่อนนำไปใช้เพื่อออกแบบถนนจริง วัสดุผสมเพิ่มต่างๆ ที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการออกแบบเพื่อใช้งานจริง เนื่องจากคุณสมบัติเบื้องต้นที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นได้ผลการทดสอบค่าการรับกำลังที่สูงขึ้น เพียงแต่มีการใช้งานบางประการที่ไม่เหมาะสมกับมาตรฐานการออกแบบเดิม

ผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ชนิด AC 60 - 70 พบว่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมของอัตราส่วนผสมของพลาสติกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการทดสอบต่างๆ เปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญ ค่าระยะจมนของเข็มมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของพลาสติก ซึ่งค่ามาตรฐานอยู่ที่ 60 - 70 มม. การทดสอบหาค่าจุดวาบไฟโดยการทดสอบ อุณหภูมิของจุดวาบไฟจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของพลาสติก ที่ 301 °C โดยที่เกณฑ์มาตรฐานวัสดุกรมทางหลวงกำหนดไว้ที่ไม่ต่ำกว่า 232 °C ในทางกลับกันคุณสมบัติจุดอ่อนตัวมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนพลาสติกเพิ่มขึ้น จากเดิมอยู่ที่ 46.0 °C ที่อัตราส่วนพลาสติกร้อยละ 0 เมื่ออัตราส่วนของพลาสติกเปลี่ยนแปลง ค่าจุดอ่อนตัวมีค่าขึ้นไปสูงถึง 56.8 °C ที่อัตราส่วนพลาสติกร้อยละ 20 จากมาตรฐานกรมทางหลวงที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 45 °C อีกทั้งพบว่าค่าการยึดตัวมีค่าเหมาะสมที่สุดที่อัตราส่วนพลาสติกร้อยละ 15 โดยมีค่า 96.8 ซม. จึงบ่งชี้ได้ว่าคุณสมบัติดัชนีของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมพลาสติกมีค่าเหมาะสมเมื่อผสมพลาสติก PET ที่อัตราส่วนร้อยละ 15

การทดสอบคุณสมบัติการรับกำลังของแอสฟัลต์โดยวิธีมาร์แชลล์พบว่าค่าเสถียรภาพแปรผันตรงกับอัตราส่วนพลาสติกผสมเพิ่ม กล่าวคือเมื่อเพิ่มอัตราส่วนพลาสติก

ขึ้น ค่าเสถียรภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยจากเดิมที่ 2133.72 ปอนด์ เพิ่มขึ้นเป็น 3006.88 ปอนด์ ที่อัตราส่วนเศษพลาสติกร้อยละ 20 ตามลำดับ โดยค่าเสถียรภาพที่อัตราส่วนพลาสติกร้อยละ 10 มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 32.4 ส่วนของความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างมีค่าสูงสุดที่ 2.466 ตัน./ม.3 ที่พลาสติกร้อยละ 10 และลดลงที่ 2.404 ตัน./ม.3 ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 อีกทั้งค่าการไหลที่ได้จากการทดสอบที่พลาสติกร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ 7 – 18

6. สรุปและอภิปราย

จากผลการศึกษาพบว่า การใช้งานเศษพลาสติก PET ผสมกับแอสฟัลต์สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยผลการทดสอบทางวิศวกรรมของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตผสมพลาสติกที่ร้อยละ 10 โดยวิธีการหลอมละลายพลาสติกกับแอสฟัลต์ให้ค่าผลการทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตของกรมทางหลวงทั้งหมด อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้งานพลาสติกกรีซไคเคิลเพื่อบรรเทาปัญหาขยะพลาสติกและมลพิษได้อีกทางหนึ่ง

ในส่วนของความปลอดภัยในการใช้งานถนนนั้น ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง จากผลการศึกษาค่าความต้านทานการลื่นไถลพบว่า ค่าความต้านทานการลื่นไถลไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของพลาสติกที่ผสมเพิ่มเนื่องจากความต้านทานที่เกิดขึ้นบนผิวถนนมักได้รับผลจากรูปร่างของวัสดุรวมรวมเป็นปัจจัยหลัก

การใช้พลาสติกกรีซไคเคิลเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตยังคงมีปัจจัยที่จำเป็นต้องมีการควบคุมเพื่อให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสามารถนำมาปรับใช้กับการก่อสร้างในหน้างานจริง ดังนั้นเพื่อการใช้งานถนนพลาสติกอย่างมีประสิทธิภาพจึงควรมีการศึกษาในแง่มุมต่างๆ เพิ่มเติม เช่น ความทนทานของพลาสติกเมื่อใช้งานร่วมกับวัสดุทาง และความต้านทานต่อ

ความเสียหายร่องล้อลุดหนุมิขณะใช้งาน อีกทั้งคุณสมบัติของพลาสติกประเภทอื่นๆ

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ พันเอก (พิเศษ) เสรีวงศ์ชุ่มใจ ผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สถานที่ วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ พร้อมคำแนะนำในการวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งขอขอบพระคุณกองทุนพัฒนโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่สนับสนุนงบประมาณในการศึกษาครั้งนี้

การทดสอบในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของ ดร.โอภาส สมใจนึก ผู้อำนวยการส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม สำนักทางหลวงที่ 18 กรมทางหลวง ทั้งนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้ สำหรับความช่วยเหลือที่ส่งผลให้การศึกษาในครั้งนี้บรรลุวัตถุประสงค์ และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

8. บรรณานุกรม

- (1) ชัยธวัช พรหมศร, "การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์และวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารโพลีเมอร์", สำนักวิจัยและพัฒนาทางกรมทางหลวง, รายงานฉบับที่ วพ. ๒๐๔, 2541.
- (2) ประเมษฐ์ หอมหวล, "การปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ", วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญา, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2560.
- (3) นพวิชญ์ อาจสด, กันต์ธร ประทีป ณ ถลาง, ศุภฤกษ์ รุ่งเกนท์, แทนไท ชาญแก้ว, กฤตวัฒน์ โสภานันท์, "การศึกษาคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณสมบัติด้วยพลาสติกโพลิโพรพิลีน", วิทยานิพนธ์, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, 2563.
- (4) พิชัย ฉานีรณานนท์, "วิธีการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์", ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2535.
- (5) รัชพล พงศ์พิฤกษ์, ก่อโชค จันทรวงกูร, วีระเกษม สอนผกา, "การศึกษารูปแบบใช้เศษพลาสติกเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติดินซีเมนต์"

- การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 59 KU Annual Conference, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2563.
- (6) วชิรินทร์ วิทยกุล, "เทคโนโลยียางมะตอย", ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559.
- (7) เวชสวรรค์ หล้ากาศ, "การใช้ขยะถุงพลาสติกเพิ่มความเสถียรภาพให้กับถนนยางพารา", มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ประเทศไทย, 2561.
- (8) สุทธิชัย เจริญกิจ, ธนิตเชษฐ์ ดวงโสม, สราวุธ จริตงาม, "การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณสมบัติด้วยพลาสติกกรีไฮเคิล", กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, 2563.
- (9) สมัย ไชติกุล, สันติภาพ ศิริยงค, สิทธิชัย ศิริพันธ์, บุญชัย แสงเพชร งาม, "การออกแบบและพัฒนาวิธีการคาดคะเนความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางแอสฟัลต์ด้วยคุณลักษณะของมวลรวม", การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๙, วันที่ ๑๔ - ๑๖ พฤษภาคม 2557 จังหวัดขอนแก่น, ประเทศไทย, 2557.
- (10) Hubbert, King M.S., "Peak Oil Definition", *Financial Time Lexicon*, 2009.
- (11) J.P. Donrak, , R.L. Rachan, , S.S. Horpibulsuk, , A.R. Arulrajah, J.D. Yan, "Improvement of Marginal Lateritic Soil Using Melamine Debris Replacement for Sustainable Engineering Fill Materials", *Journal of Cleaner Production* 134, 515 – 522, 2016.
- (12) J.K. Appiaha, V. Nana, B. Boatenga, T.A. Tagborb, "Use of waste plastic materials for road construction in Ghana", *Case Studies in Construction Materials* 6, 1–7, Department Chemistry, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Ghana, 2017.
- (13) M.A. Dalhat, MH.I.Al-Abdul Wahhab, "Cement-less and Asphalt-less Concrete Bounded by Recycled Plastic", *Construction and Building Materials*, vol. 119, pp. 206-214, 2016.
- (14) S.N. Tafreshi, M.P. Omran, M.Y. Rahimi, A. Dawson, A., "Experimental Investigation of The Behavior of Soil Reinforced with Waste Plastic Bottles Under Cyclic Loads", *Transportation Geotechnics*, vol. 26, 100455, January 2021, <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100455>