คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมด้วยขยะทะเล

Properties of asphaltic concrete mixed with marine debris

ชัยวัฒน์ ใหญ่บก[1] ปิยะพงศ์ สุวรรณโณ[2,*] และ ประสาร จิตร์เพ็ชร[3]

[1] *ศูนย์วิจัยด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช*

[3] *สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตรัง*

*

บทคัดย่อ

ปัญหาขยะทะเลในปัจจุบันได้ส่งผลต่อระบบนิเวศชายฝั่งทางทะเล และมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะขยะจากขวดพลาสติกและเศษแก้ว จึงมีแนวคิดในการนำขยะมาประยุกต์ใช้กับงานแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อลดปัญหาขยะทะเล โดยได้ออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้เฉพาะงาน (Job Mix Formula) ด้วยการนำขวดพลาสติก (P) และเศษแก้ว (G) มาย่อยให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.30 มิลลิเมตร เพื่อนำไปแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 50 ในอัตราส่วนร้อยละ P25:G25, P25:G50, P50:G25 และ P50:G50 ตามลำดับ จึงทำการผสมวัสดุมวลรวมคละขนาดในยุ้งหินร้อน (Hot Bin) อัตราส่วน 40:33:15:12 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ผสมร้อยละ 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 และ 6.5 โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม จากนั้น จัดทำก้อนตัวอย่างในห้องปฏิบัติการและทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมตามข้อกำหนดมาตรฐานการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลล์ของกรมทางหลวง ซึ่งผลการทดสอบพบว่า การแทนที่พลาสติกร้อยละ 25 และเศษแก้วร้อยละ 25 (P25:G25) ทำให้คุณสมบัติของความหนาแน่น ค่าเสถียรภาพ ค่าการไหล ร้อยละของช่องว่างอากาศ ร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) และร้อยละของช่องว่างมวลรวม (VMA) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดและเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง รองลงมาคือ อัตราส่วนการแทนที่ P25:G50 เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนการผสมอื่นๆ โดยอัตราส่วนผสมดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นทางเลือกในการลดปริมาณขยะทะเลในงานทางวิศวกรรมได้อีกทางหนึ่งด้วย

คำสำคัญ: แอสฟัลต์คอนกรีต, วัสดุมวลรวม, ขยะทะเล, มาร์แชลล์

Abstract

Increasing amounts of marine debris including plastic bottles and glass cullet waste are negatively impacting coastal ecosystems. Applying asphalt concrete can reduce marine debris. Aggregate materials in the asphalt concrete job mix formula were combined with plastic flakes (P) and glass cullet (G) of sub-size less than 0.30 mm and retained on a #50 sieve. Mixing ratios at P25:G25, P25:G50, P50:G25 and P50:G50 were employed. The aggregate material was mixed in a hot bin at the mixing ratios of 40:33:15:12 by weight using asphalt cement grade AC 60-70 mixed with ratios 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 and 6.5 by weight of the mass aggregate in a laboratory. Laboratory engineering properties of the asphalt concrete specimens were tested following the Marshall method by the Department of Highways (DOH). Replacement of 25% plastic flakes and 25% glass cullet (P25:G25) improved density, stability, flow, percentage of air voids (%AV), voids filled with asphalt (%VFA) and voids in mineral aggregate (%VMA) as optimal ratios of DOH standard testing requirements, followed by mixing ratio P25:G50. Mixing ratio P25:G25 showed promise as an alternative to reduce marine waste.

Keywords: Asphalts Concrete, Aggregates, Marine debris, Marshall

1. บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

ขยะทะเล ถือเป็นของเสียที่เกิดจากมนุษย์ที่ทิ้งลงสู่ทะเลทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งขยะส่วนใหญ่เป็นขยะพลาสติก เช่น ถุง ขวด ภาชนะใส่อาหาร วัสดุที่ใช้ในการบรรจุหีบห่อ เป็นต้น รวมทั้งผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สายรัด แผ่นพลาสติก หมวกนิรภัย เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีขยะที่มาจากเครื่องมือประมง เช่น แห อวน ลอบ อีกด้วย ซึ่งขยะดังกล่าวมีน้ำหนักเบาและไม่สามารถย่อยสลายได้ในเวลาอันสั้นจึงถูกพัดพาไปในที่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดโดยคลื่น ลม กระแสน้ำ และน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งผลการศึกษาของสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย หรือทีดีอาร์ไอ [1] กล่าวว่า ประเทศไทยมีปริมาณขยะทะเลมากเป็นลำดับที่ 10 ของโลกในปี พ.ศ. 2563 ปริมาณขยะพลาสติกที่มีการจัดการไม่ถูกต้องรวม 1.03 ล้านตันต่อปี ส่วนหนึ่งเป็น

ขยะที่รั่วไหลลงสู่ทะเลประมาณ 0.41 ล้านตันต่อปี และขยะส่วนใหญ่เป็นขยะพลาสติกร้อยละ 12 กล่องโฟมร้อยละ 10 ห่ออาหารร้อยละ 8 ถุงพลาสติกหูหิ้ว หรือถุงก๊อบแก๊บร้อยละ 8 ขวดแก้วร้อยละ 7 ขวดพลาสติกร้อยละ 7 และหลอดดูดร้อยละ 5 ซึ่งขยะทะเลที่เกิดขึ้นส่วนมากมาจากพฤติกรรมการบริโภคของมนุษย์ นอกจากนี้ การกำจัดขยะในปัจจุบันมีเพียง 2 วิธี คือ การเผาทำลายและการฝังกลบ ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้ล้วนก่อให้เกิดปัญหามลภาวะก๊าซเรือนกระจก ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนดังที่กำลังเผชิญอยู่ในขณะนี้ ดังนั้น วิธีที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ไขปัญหา คือ การชะลอหรือการลดมลภาวะก๊าซเรือนกระจกลง ด้วยการนำขยะต่างๆ มาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านวิศวกรรม เช่น งานถนน งานก่อสร้าง งานสถาปัตยกรรม เป็นต้น โดยในปัจจุบันการพัฒนาโครงการด้านโครงสร้างพื้นฐานของประเทศไทยได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางด้านถนน จึงส่งผลทำให้มีการก่อสร้าง ซ่อมแซม และบำรุงรักษาถนนทางหลวงสายต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงอาจส่งผลต่อทรัพยากรทางธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด

อีกทั้ง ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการลดมลภาวะด้านสิ่งแวดล้อมทางทะเล จึงมีแนวคิดในการนำขยะทะเลในชุมชนประเภทพลาสติกและเศษแก้วนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในงานด้านวิศวกรรมงานทาง โดยนำขยะทะเลแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดบางขนาดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่าเหมาะสมที่สุดและสามารถลดปัญหาขยะทะเลได้มากที่สุดด้วย

วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมด้วยขยะทะเลโดยการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้ค่าการรับน้ำหนัก ค่าเสถียรภาพ ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ มีค่าเหมาะสมที่สุดและเป็นไปตามข้อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง

2. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาในการนำพลาสติกและเศษแก้วมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มหรือใช้ทดแทนวัสดุมวลรวมในงานแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งในประเทศและต่างประเทศ มีรายละเอียดที่น่าสนใจ ดังนี้

งานวิจัยที่มีการนำพลาสติกมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ (Ahmadinia ., 2011) [2] ได้ทำการศึกษาในการนำพลาสติกรีไซเคิลมาผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มพลาสติกรีไซเคิลลงในแอสฟัลต์คอนกรีต สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุและสามารถจำกัดการเสียรูปถาวรภายใต้สภาวะที่มีน้ำหนักของผิวทางชั้นบนที่ได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Modarres and Hamedi, 2014) [3] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของขวดพลาสติกที่ใช้แล้วทิ้ง (Polyethylene Terephthalate; PET) ผสมด้วยยางมะตอยที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียสต่อคุณสมบัติความแข็งและความล้า พบว่า พลาสติกเหลือทิ้งที่นำมาผสมแอสฟัลต์คอนกรีตสามารถช่วยเพิ่มพฤติกรรมการล้าของถนนได้ดี และการดัดแปลงส่วนผสมจะช่วยเพิ่มความสามารถในการปูผิวทางเพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการแตกร้าวและมีความยืดหยุ่นสูงกว่าส่วนผสมทั่วไป และยังพบว่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าลดลงเมื่อปริมาณวัสดุขวดพลาสติกเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 2 ต่อมา (Appiah et al., 2017) [4] ได้ทำการวิเคราะห์การจัดการปัญหาขยะและปัญหาผิวทางเป็นหลุมเป็นบ่อในประเทศกาน่า โดยทำการวิเคราะห์ผลกระทบของพลาสติก HDPE และพลาสติก PP ต่อแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 10-20 ที่อุณหภูมิ 160-170 องศาเซลเซียส และเรียกวัสดุผสมนี้ว่า Polymer Modified Bitumen พบว่า การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมของพลาสติกชนิด HDPE อยู่ที่ร้อยละ 2-3 และพลาสติกชนิด PP อยู่ที่ร้อยละ 3 ส่วนการศึกษาของ (Lakas et al., 2017) [5] ได้ทำการศึกษากระบวนการสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยขยะพลาสติกที่ได้จากการคัดแยกขยะภายในชุมชนมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่และพื้นที่ข้างเคียง เพื่อเพิ่มค่าความเสถียรภาพให้กับถนนแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลล์ สรุปได้ว่า ถนนแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติกสามารถเพิ่มค่าเสถียรภาพเท่ากับ 13.4 kN ซึ่งมีค่ามากกว่าถนนแอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดาเท่ากับ 10.6 kN และมีค่าสูงกว่ามาตรฐานของกรมทางหลวงอีกด้วย และ (Charoenkij et al., 2021) [6] ได้ทำการศึกษาการใช้พลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) และพลาสติกโพลิโพรพิลีน (PP) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยทำการทดสอบการรับน้ำหนักและการใช้งานของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลล์ ซึ่งได้ข้อสรุปว่า ค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้นจาก 2,133 ปอนด์ของตัวอย่างแอสฟัลต์ที่ไม่ผสม PET เป็น 2,824 ปอนด์ เมื่อผสม PET ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 (เพิ่มขึ้นร้อยละ 32.40) และเมื่อใช้พลาสติก PP ผสมเพิ่มที่อัตราส่วนร้อยละ 10 ค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.92 อยู่ที่ 2,430 ปอนด์ จาก 2,133 ปอนด์ ของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่ผสมพลาสติก PP

ส่วนงานวิจัยที่มีการนำเศษแก้วมาใช้ ได้แก่ (Salem ., 2017) [7] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตแทนที่ด้วยเศษแก้วบดละเอียดบางส่วนในอัตราร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ของส่วนผสม เพื่อหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุด พบว่า การแทนที่ด้วยเศษแก้วที่ร้อยละ 10 ของส่วนผสม สามารถเพิ่มค่าเสถียรภาพ ค่าความคงทนและค่าต้านการไถลได้ดีจึงช่วยลดอุบัติเหตุทางถนนได้และทำให้ประสิทธิภาพของแอสฟัลต์เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ (Aashish and Tamrakar, 2019) [8] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต แทนที่มวลรวมด้วยเศษแก้วบด ด้วยการเพิ่มแก้วที่บดแล้วผสมกับส่วนผสมร้อยละ 5, 10 และ 14 โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐานทางหลวงของประเทศเนปาล พบว่า ที่อัตราส่วนผสมเศษแก้วร้อยละ 10 ทำให้ค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้นสูงสุดร้อยละ 12.9 และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเศษแก้วร้อยละ 14 จะทำให้ค่าความเสถียรและค่าการไหลลดลง แต่ยังคงเป็นไปตามมาตรฐานของทางหลวงเนปาล อย่างไรก็ตามที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 14 เป็นการใช้ปริมาณเศษแก้วได้สูงสุดจึงทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายสูงสุดเช่นเดียวกัน และเกิดความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐกิจอีกด้วย และ (Choudhary ., 2021) [9] ได้ศึกษาวิจัยการใช้ประโยชน์

จากผงของเศษแก้วและสารเติมแต่งแก้วในงานผิวทางแอสฟัลต์ ด้วยการใช้วัสดุรีไซเคิลผงแก้วที่ใช้แล้วทิ้ง (GP) ปูนขาวแก้ว (GL) และวัสดุที่เป็นสารเติมแต่งแทนที่หินฝุ่น (SD) ในสัดส่วนที่ต่างกันร้อยละ 4.0 - 8.5 ด้วยวิธีการออกแบบส่วนผสมของมาร์แชลล์ เพื่อหาประสิทธิภาพทางวิศวกรรมโดยการทดสอบความล้าทางอ้อม การทดสอบ Cantabro การทดสอบ Lottman การทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น การวิเคราะห์เวลาผสม และการทดสอบในน้ำเดือด ผลจากการทดสอบ พบว่า ส่วนผสมของ GL และส่วนผสมของ GP มีความทนทานต่อร่อง ความล้า และการแตกร้าวที่อุณหภูมิต่ำ และใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์น้อยกว่าส่วนผสม SD

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น เห็นได้ว่า มีการนำพลาสติกและเศษแก้วผสมในแอสฟัลต์คอนกรีตในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน สามารถเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดี และยังเพิ่มค่าเสถียรภาพให้กับแอสฟัลต์คอนกรีตอีกด้วย แต่ยังไม่ได้มีการศึกษาการนำพลาสติกและเศษแก้วมาผสมรวมกันในการแทนที่วัสดุมวลรวมแอสฟัลต์คอนกรีต จึงนำมาสู่การศึกษางานวิจัยในครั้งนี้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์ วัสดุมวลรวม และวัสดุที่ใช้แทนที่มวลรวมละเอียด โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt cement)

แอสฟัลต์ซีเมนต์ [11,12] เป็นยางมะตอยที่ผลิตได้จากการกลั่นน้ำมันดิบมีสีดำหรือสีน้ำตาลปนดำ ลักษณะเป็นกึ่งของแข็งประกอบด้วยบิทูเมนเป็นหลักสามารถหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งก่อนใช้ต้องผ่านความร้อนประมาณ 140-150 องศาเซลเซียส เมื่อแห้งจะแข็งตัวทำให้เป็นวัสดุประสานและยึดเกาะวัสดุต่างๆได้ดี ในปัจจุบันประเทศไทยมีเกรดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่นิยมใช้มากที่สุด ได้แก่ เกรด AC 60-70 และเกรด AC 40-50 ซึ่งตัวเลขที่กำกับระบุถึงค่าการทะลุทะลวงในหน่วยของ 0.1 มิลลิเมตร

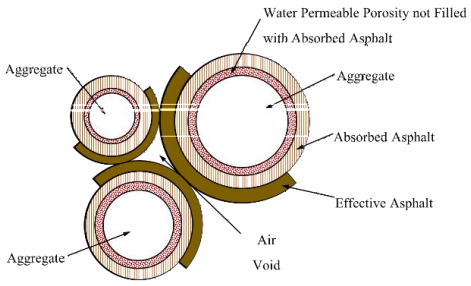
2.2.2 วัสดุมวลรวม (Aggregate)

วัสดุมวลรวมที่นำมาผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ประกอบด้วย 1) มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) คือ วัสดุมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) และ 2) มวลรวมละเอียด (Fire Aggregate) คือ วัสดุมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) และค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) ในกรณีที่วัสดุมวลรวมมีส่วนประกอบไม่เพียงพอหรือหากต้องการปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มความแข็งแรงของแอสฟัลต์คอนกรีต จำเป็นต้องใช้วัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) โดยการนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 (0.60 มิลลิเมตร) ค้างบนตะแกรงเบอร์ 50 (0.30 มิลลิเมตร) หรือค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) เช่น ฝุ่นหิน ปูนขาว ปูนซีเมนต์ เป็นต้น วัสดุมวลรวมที่ใช้ทำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจะต้องมีขนาดคละของวัสดุมวลรวมที่เหมาะสมและที่สำคัญต้องเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตของกรมทางหลวงอีกด้วย [13,14,15]

2.2.3 แอสฟัลต์คอนกรีต

แอสฟัลต์คอนกรีต เป็นวัสดุผิวทางหรือพื้นทางทำการผสมกันระหว่างวัสดุมวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ตามอัตราส่วนผสมที่ได้ออกแบบไว้ และวัสดุมวลรวมที่ใช้จะต้องแห้งสนิทและไม่จับตัวเป็นก้อน ในการผสมต้องให้ความร้อนกับวัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์จนได้อุณหภูมิที่ 325°F ±15°F จึงเรียกว่าการผสมร้อน (Hot-mix) ทำการผสมให้เข้ากันดี แล้วขนส่งวัสดุผสมร้อนไปยังที่ก่อสร้าง และปูลาดด้วยเครื่องจักร จากนั้น ทำการบดอัดให้แน่นตามมาตรฐานที่กำหนด ผิวทางประเภทนี้จึงเรียกว่า ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต [14,15]

โดยทั่วไป แอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์ วัสดุมวลรวม และอากาศ ซึ่งวัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมแอสฟัลต์คอนกรีตจะดูดแอสฟัลต์ซีเมนต์เข้าไปส่วนหนึ่ง (Absorbed Asphalt) ส่วนแอสฟัลต์ซีเมนต์ส่วนที่เหลือเรียกว่า แอสฟัลต์ประสิทธิผล (Effective Asphalt) ทำหน้าที่เคลือบผิวเม็ดวัสดุมวลรวม ช่องว่างระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์เรียกว่าช่องว่างอากาศ (Air Voids: AV) ช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวม (Void in Mineral Aggregate; VMA) ซึ่งช่องว่างในวัสดุมวลรวมมีค่าเท่ากับปริมาตรทั้งหมดของแอสฟัลต์ [2,15] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (ปรับปรุงจาก [12])

การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลล์ ได้กำหนดคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต ประกอบด้วย ค่าเสถียรภาพ (Stability) ค่าการไหล (Flow) ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ (AV) ค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวม (VMA) และค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Asphalt; VFA) ซึ่งข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต [12,13,14]

รายการ		ผิวทางชั้นบน (Wearing Course)
Aggregate Size		12.5 mm
Blows		75
Stability Min.	lb.	> 1,800
Flow 0.25 mm.	(0.01 in)	8-16
Percent Air Voids		3-5
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA) Min.		14
Stability / Flow	lbs./0.1 in	> 160
Percent Strength Index Min.		75

2.2.4 วัสดุที่ใช้แทนที่มวลรวมละเอียด

จากการทบทวน พบว่า (FHWA, 2016) [10] ได้จัดทำคู่มือสำหรับการนำของเสียและวัสดุที่เหลือใช้ที่สามารถนำกลับมาใช้ในการก่อสร้างงานทาง ได้แนะนำว่า เศษแก้วหรือกระจกสามารถนำมาเป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต สามารถเพิ่มประสิทธิภาพที่ดีให้กับแอสฟัลต์คอนกรีตแบบผสมร้อน เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของเศษแก้วมีค่าต่ำกว่ามวลรวมทั่วไป ประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ และความทนทานของเศษแก้วหรือกระจกจะมีความทนทานมากขึ้นเมื่อนำมาบดให้ละเอียดมีขนาดน้อยกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ก่อนนำไปใช้เป็นส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต จึงทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีประสิทธิภาพสูงสุด

ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ขยะทะเลประเภทพลาสติกและเศษแก้ว โดยนำไปย่อยให้ขนาดเล็กและนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 (0.60 มิลลิเมตร) และค้างบนตะแกรงเบอร์ 50 (0.30 มิลลิเมตร) โดยมีรายละเอียดดังนี้

พลาสติก (

งานวิจัยนี้ เลือกใช้ขยะทะเลจำพวกขยะพลาสติกจากขวดน้ำ และนำมาย่อยให้ละเอียดจนกลายเป็นผงหรือเกล็ดพลาสติก เพื่อนำมาเป็นส่วนผสมในการแทนที่วัสดุมวลรวม แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะเกล็ดพลาสติกที่ผ่านการย่อยและร่อนผ่านตะแกรง

เศษแก้ว (

งานวิจัยนี้ เลือกใช้ขยะทะเลจากขวดแก้วชนิดโซดาไลม์ (Soda-Lame Glass) เนื่องจากขวดแก้วชนิดนี้มีส่วนผสมที่มาจากทราย หินปูน โซดาแอช และมักพบเห็นได้ทั่วไป เช่น ขวดแก้ว กระจก เป็นต้น โดยนำมาย่อยให้มีความละเอียดเช่นเดียวกับพลาสติก แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะเศษแก้วที่ผ่านการย่อยและร่อนผ่านตะแกรง

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จึงได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt cement)

แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้เกรด (AC 60-70) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.02 และร้อยละการดูดซึมยางเท่ากับ 0.25 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด [15]

3.1.2 วัสดุมวลรวม (Aggregate)

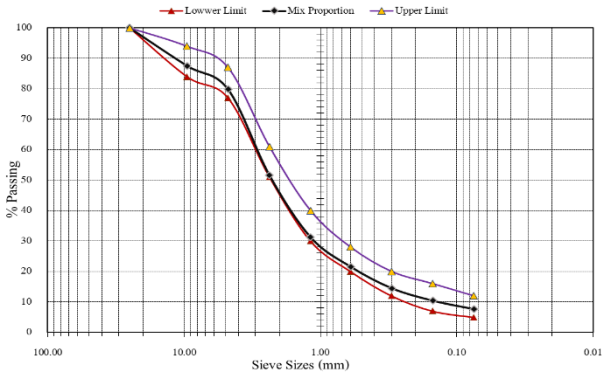
วัสดุมวลรวมที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ได้มาจากโรงโม่หิน อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช และได้ทำการทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม ซึ่งประกอบด้วย ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index) ค่าดัชนีความยาว (Elongation Index) ค่าการสึกหรอโดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ค่าความคงทน (Soundness) และค่าทรายสมมูลย์ (Sand Equivalent) ซึ่งผลจากการทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวมที่นำมาใช้ พบว่า คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมเป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดไว้ [15]

3.1.3 ขยะทะเล

วัสดุจากขยะทะเลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ต้องนำมาย่อยให้มีขนาดเล็กและนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 50 ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2.4 ข้างต้น

การเตรียมวัสดุมวลรวม

การเตรียมวัสดุมวลรวมเพื่อใช้ในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต จำเป็นต้องหาขนาดคละวัสดุมวลรวมที่เหมาะสม (ดังรูปที่ 4) เพื่อหาอัตราส่วนผสมวัสดุมวลรวมของยุ้งหินร้อน (Hot Bin) จำนวน 4 ยุ้ง โดยที่ Hot Bin 1 วัสดุส่วนใหญ่เป็นมวลรวมละเอียดหรือหินฝุ่น ส่วน Hot Bin 2-4 เป็นวัสดุมวลรวมหยาบ เมื่อได้ส่วนผสมที่เหมาะสมแล้วจึงนำวัสดุมวลรวมจาก Hot Bin มาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วนร้อยละ 40 : 33 : 15 : 12 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด



รูปที่ 4 ขนาดคละวัสดุมวลรวม

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต

ขนาดตะแกรง	ร้อยละผ่านตะแกรงของมวลรวม				ถังรวม	ขีดจำกัด [13,14]
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4		
1”						
¾”			100	100	100	100
½”			88.50	10.50	87.54	84-94
3/8”		100	44.60	0.90	79.80	77-87
#4	100	34.50	1.00	0.20	51.56	51-61
#8	76.80	1.60			31.25	30-40
#16	53.20	0.80			21.54	20-28
#30	36.20				14.48	12-20
#50	26.00				10.40	7-16
#100	19.10				7.64	5-12
#200	11.20				4.48	4-6
สัดส่วน	40	33	15	12		

การแทนที่วัสดุมวลรวมด้วยขยะทะเล

การแทนที่วัสดุมวลรวมด้วยขยะทะเล เป็นการนำวัสดุจากหัวข้อ 2.2.4 มาแทนที่ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของมวลรวมจาก Hot Bin 1 และเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์งานวิจัย จึงได้กำหนดอัตราส่วนการแทนที่ก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตออกเป็น 5 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การแทนที่วัสดุมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 50 ในยุ้งหินร้อน 1

อัตราส่วนการแทนที่	มวลรวมค้างบนตะแกรง #50 ใน Hot Bin 1					
	ฝุ่นหิน		เกล็ดพลาสติก		เศษแก้ว	
	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม
AC	100	48.96	-	-	-	-
P25:G25	50	24.48	25	12.24	25	12.24
P25:G50	25	12.24	25	12.24	50	24.48
P50:G25	25	12.24	50	24.48	25	12.24
P50:G50	-	-	50	24.48	50	24.48

หมายเหตุ *คือ ก้อนตัวอย่างที่ไม่แทนที่ด้วยขยะทะเล*
คือ ก้อนตัวอย่างที่แทนที่วัสดุมวลรวมด้วยพลาสติกที่ค้างบนตะแกรง
คือ ก้อนตัวอย่างที่แทนที่วัสดุมวลรวมด้วยเศษแก้วที่ค้างบนตะแกรง

การเตรียมก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต

ในการเตรียมก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต (จากตารางที่ 2 และตารางที่ 3) เป็นการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับผิวทางชั้นบน (Wearing Course) ซึ่งได้กำหนดปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ผสมวัสดุมวลรวมร้อยละ 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 และ 6.5 ตามลำดับ โดยจัดทำก้อนตัวอย่างชุดละ 5 ก้อนต่อปริมาณร้อยละแอสฟัลต์ซีเมนต์ต่ออัตราการแทนที่ส่วนผสม ซึ่งก้อนตัวอย่าง 1 ก้อนจะมีน้ำหนักประมาณ 1,200 กรัม (ดังรูปที่ 5)

จากนั้น จึงทำการผสมวัสดุมวลรวมจาก Hot bin ตามอัตราส่วน แล้วทำการบดอัดก้อนตัวอย่างด้านละ 75 ครั้งตามข้อกำหนด โดยที่อุณหภูมิต้องไม่น้อยกว่า 170 องศาเซลเซียส และที่สำคัญก่อนเริ่มทำการผสมก้อนตัวอย่าง ต้องมีการให้ความร้อนแก่วัสดุมวลรวมทุกครั้ง รวมถึงวัสดุที่ใช้ในการบดอัดด้วย



รูปที่ 5 ลักษณะก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

เมื่อจัดทำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตแล้วเสร็จ จึงดำเนินการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลล์ [12,13,14] ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อข้างต้น และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตตามมาตรฐานกับก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตผสมด้วยขยะทะเลตามอัตราส่วนผสมเพื่อหาข้อสรุปจากการศึกษา



รูปที่ 6 การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการทดสอบคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตทางวิศวกรรมและผลการเปรียบเทียบก้อนตัวอย่างผสมด้วยขยะลทะเล มีรายละเอียดดังนี้

ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต (AC) ที่ผสมวัสดุมวลรวมคละขนาดตามอัตราส่วนในยุ้งหินร้อน (Hot Bin) เท่ากับ 40 : 33 : 15 : 12 โดยน้ำหนัก ในห้องปฏิบัติการซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3 พบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตมีความหนาแน่น (Density) สูงสุดเท่ากับ 2.449 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่งผลให้ได้ค่าร้อยละแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวม (% AC. by wt. of agg.) เท่ากับ 5.60 จึงได้ค่าเสถียรภาพเท่ากับ 2,580 ปอนด์ ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศเท่ากับ 3.75 ค่าการไหลเท่ากับ 12.02 ค่าร้อยละช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมเท่ากับ 16.15 และค่าร้อยละช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์เท่ากับ 77 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานที่กรมทางหลวงกำหนดไว้ ส่วนผลการทดสอบคุณสมบัติของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะทะเลตามอัตราส่วนที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3 มีรายละเอียด ดังนี้

1) ค่าความหนาแน่น

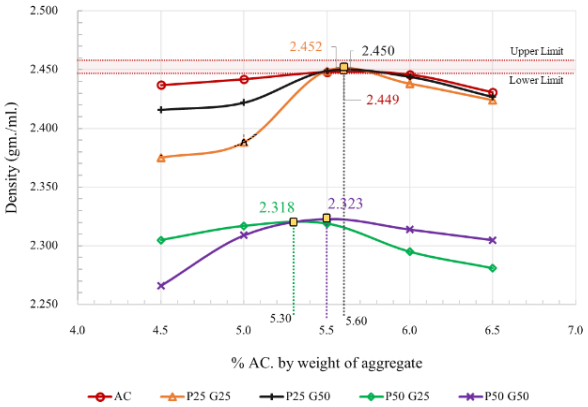
เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นสูงสุด (Density) ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์แทนที่ด้วยขยะทะเลจากรูปที่ 7 พบว่า ก้อนตัวอย่าง (P25:G25) มีค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 2.452 กรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือก้อนตัวอย่าง (P25:G50) เท่ากับ 2.450 กรัมต่อมิลลิลิตร จะได้ค่า % AC. by wt. of agg. ร้อยละ 5.60 ค่าที่ได้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง (ค่าที่ยอมได้ 2.449-2.459) ส่วนก้อนตัวอย่าง (P50:G25) และก้อนตัวอย่าง (P50:G50) พบว่า ค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 2.318 และ 2.323 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด จึงส่งผลให้ค่า % AC. by wt. of agg. มีค่าร้อยละ 5.30 และ 5.50 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเกล็ดพลาสติกและเศษแก้วส่งผลให้ก้อนตัวอย่างเกิดการละลายและพองตัวทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [2] จึงทำให้ค่าที่ได้ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง

2) ค่าเสถียรภาพ (Stability)

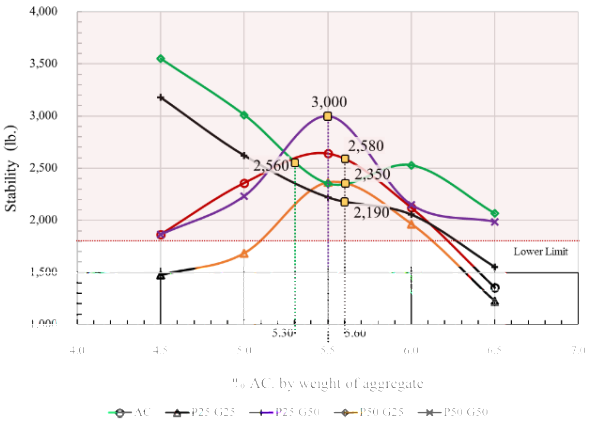
ค่าเสถียรภาพ เป็นค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของรถบรรทุกโดยไม่เกิดร่องล้อหรือไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่า ที่ % AC. by wt. of agg. ร้อยละ 5.50 ของก้อนตัวอย่าง (P50:G50) มีค่าเสถียรภาพสูงสุดเท่ากับ 3,000 ปอนด์ เนื่องจากปริมาณพลาสติกและเศษแก้วที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดี มีความยืดหยุ่นโดยไม่ทำให้เกิดร่องล้อ แต่กลับทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่าน้อยที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัย [2,7] และผลการทดสอบก้อนตัวอย่าง (P25:G25) ก้อนตัวอย่าง (P25:G50) และก้อนตัวอย่าง (P50:G25) ค่าเสถียรภาพสูงสุดเท่ากับ 2,350 2,190 และ 2,560 ปอนด์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าก้อนตัวอย่าง (AC) แต่ยังเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด (มีค่าไม่น้อยกว่า 1,800 ปอนด์)

3) ค่าร้อยละช่องว่างอากาศ

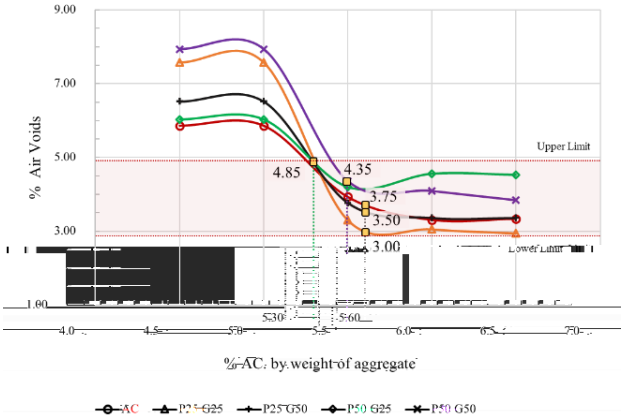
ค่าร้อยละช่องว่างอากาศ (Air Voids; %AV) ของแอสฟัลต์คอนกรีตได้มาจากความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับความหนาแน่นสูงสุด โดยปริมาตรช่องว่างอากาศมีผลต่อความคงทน (Durability) และการใช้งานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต กล่าวคือ หากปริมาตรช่องว่างอากาศยิ่งน้อย ทำให้น้ำและอากาศซึมผ่านเข้าไปทำลายแอสฟัลต์คอนกรีตและการยึดเกาะระหว่างวัสดุมวลรวมกับแอสฟัลต์คอนกรีตได้ยาก จึงทำให้ผิวทางมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่า ที่ % AC. by wt. of agg. ร้อยละ 5.60 ของก้อนตัวอย่าง (P25:G25) ส่งผลให้ค่า % AV มีค่าเท่ากับ 3.00 และก้อนตัวอย่าง (P25:G50) ค่า % AV มีค่าเท่ากับ 3.50 ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่าก้อนตัวอย่าง (AC) ทำให้การซึมผ่านของน้ำทำได้ยากจึงส่งผลต่อความแข็งแรงของแอสฟัลต์คอนกรีตได้ดี และผลการทดสอบก้อนตัวอย่าง (P50:G25) และก้อนตัวอย่าง (P50:G50) ได้ค่า % AV ที่สูงกว่าอัตราส่วนข้างต้น เท่ากับ 4.75 และ 4.35 ตามลำดับ กล่าวคือ เมื่อปริมาณพลาสติกเพิ่มขึ้น พลาสติกเกิดการละลายจึงทำให้ก้อนตัวอย่างพองตัวส่งผลให้มีช่องว่างอากาศเพิ่มตามไปด้วย แต่เมื่อนำเศษแก้วมาผสมในอัตราส่วนที่เท่ากัน กลับพบว่า % AV มีค่าที่ลดลง แสดงให้เห็นว่าเศษแก้วสามารถเข้าไปแทนที่ช่องว่างอากาศที่มีขนาดใหญ่ได้ดีขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบความหนาแน่นในข้างต้น อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง (มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 3–5)



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม



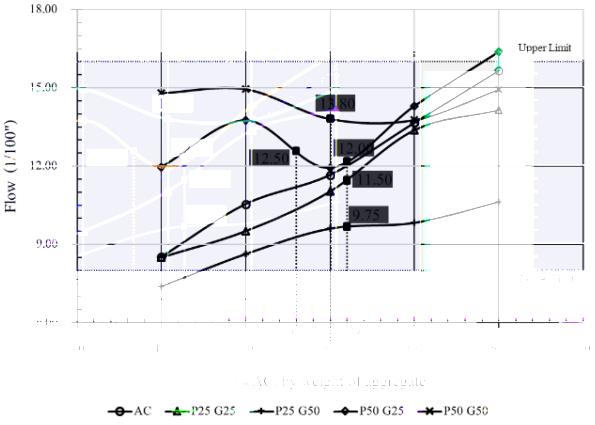
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพกับร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละช่องว่างอากาศกับร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม

4) ค่าการไหล

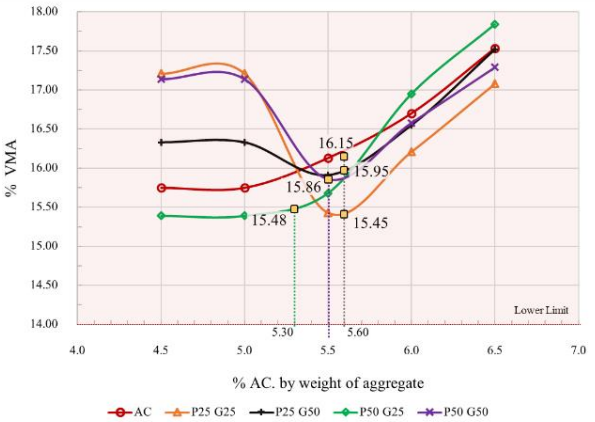
ค่าการไหล (Flow) เป็นการวัดค่าการยืดคืนของวัสดุเมื่อมีแรงกระทำกับก้อนตัวอย่าง (0.25 มิลลิเมตร (0.01 นิ้ว)) จากการทดสอบ พบว่า ที่ % AC. by wt. of agg. ร้อยละ 5.50 ของก้อนตัวอย่าง (P50:G50) มีค่าการไหลสูงสุดเท่ากับ 13.80 รองลงมาคือ ก้อนตัวอย่าง (P50:G25) ที่ % AC. by wt. of agg. ร้อยละ 5.32 มีค่าเท่ากับ 12.50 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณของพลาสติกที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าการไหลมีค่าสูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับนิยามค่าการไหล เนื่องจากพลาสติกมีค่าการยืดหยุ่นที่สูงเมื่อมีการรับแรงกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม พลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนาแน่นลดลงเช่นกัน นอกจากนี้ หากผสมเศษแก้วในอัตราส่วนที่สูงกว่าพลาสติกดังก้อนตัวอย่าง (P25:G50) ก็ทำให้ค่าการยืดหยุ่นของแอสฟัลต์มีค่าน้อยลงมีค่าเท่ากับ 9.75 ส่วนกรณีก้อนตัวอย่าง (P25:G25) มีค่าการไหลเท่ากับ 11.50 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าก้อนตัวอย่าง (AC) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน พบว่า อัตราส่วนผสมต่างๆ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้ได้ (อยู่ระหว่าง 8-16 (1/100 นิ้ว)) (ดังแสดงในรูปที่ 10)



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลกับร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม

5) ค่าร้อยละช่องว่างระหว่างอนุภาคของวัสดุมวลรวม

ค่าร้อยละช่องว่างระหว่างอนุภาคของวัสดุมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate; VMA) หมายถึง ปริมาตรของช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดทับแล้ว ซึ่งผลการทดสอบก้อนตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 11 พบว่า ก้อนตัวอย่าง (P25:G25) ที่ % AC. by wt. of agg. ร้อยละ 5.60 ทำให้ค่า % VMA ค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 15.45 หมายถึง ปริมาตรช่องว่างระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวมของแอสฟัลต์ที่บดทับแล้วมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือ ก้อนตัวอย่าง (P50:G25) ก้อนตัวอย่าง (P25:G50) และก้อนตัวอย่าง (P50:G50) มีค่าเท่ากับ 15.48 15.95 และ 15.86 ตามลำดับ และยังมีค่าที่ต่ำกว่าก้อนตัวอย่าง (AC) อีกด้วย แสดงว่าการเพิ่มเศษแก้วและพลาสติกเข้าไปแทนที่มวลรวมละเอียดสามารถลด % VMA ลงได้เช่นเดียวกัน และค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบกรมทางหลวง (ไม่น้อยกว่าร้อยละ 14)

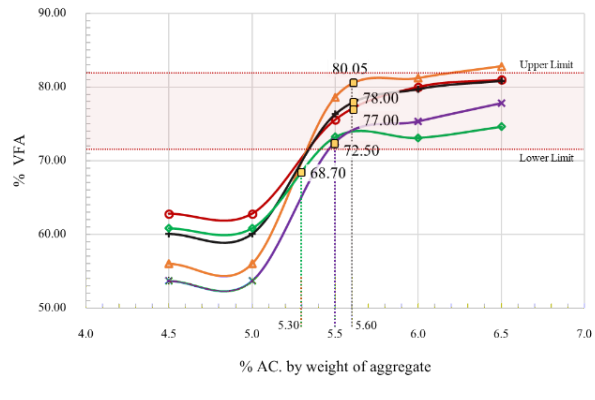


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างระหว่างอนุภาคของวัสดุมวลรวมกับร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม

6) ค่าร้อยละช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์

ค่าร้อยละช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Asphalt; VFA) หมายถึง ปริมาตรช่องว่างเหลือที่ถูกแอสฟัลต์ซีเมนต์แทนที่เพื่อให้อนุภาคยึดติดไม่หลุดออกจากกัน หรือเรียกว่า แอสฟัลต์ประสิทธิผล ซึ่งผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 12 พบว่า ที่ % AC. by wt. of agg. ของก้อนตัวอย่าง (P25:G25) และ (P25:G50) ส่งผลให้ค่า % VFA สูงที่สุด เท่ากับ 80.05 และ 78.00 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าก้อนตัวอย่าง AC

ส่วนก้อนตัวอย่าง (P50:G25) ค่า %VFA ที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดเท่ากับ 68.70 ตั้งข้อสังเกตว่า เมื่ออัตราส่วนผสมของพลาสติกที่สูงกว่าเศษแก้วจะส่งผลให้ค่า %VFA ลดลง และเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของเศษแก้วกับพลาสติกที่เท่ากันร้อยละ 50 (P50:G50) กลับพบว่าค่า %VFA มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 72.50 จึงทำให้ช่องว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ดีขึ้น ค่าที่ได้ยังคงเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบ (มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 72-81)



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์กับร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม

การเปรียบเทียบผลคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตของก้อนตัวอย่างทั้งหมดข้างต้นตามเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบและการทดสอบโดยวิธีมาร์แชลล์ของกรมทางหลวง ดังแสดงในตารางที่ 4 สรุปได้ว่า ที่อัตราส่วน P25:G25 คือ การแทนที่พลาสติกและเศษแก้วในอัตราส่วนที่เท่ากันร้อยละ 25 ของมวลรวมละเอียดใน Hot Bin 1 ที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 50 (0.30 มิลลิเมตร) จะใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ร้อยละ 5.60 โดยน้ำหนักของมวลรวม ส่งผลให้คุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลต์คอนกรีตดีที่สุด ทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และค่าร้อยละช่องว่างอากาศมีค่าน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบก้อนตัวอย่างที่ไม่ได้มีการแทนที่ (หรือก้อนตัวอย่าง AC) และเป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานกรมทางหลวงอีกด้วย รองลงมา คือ อัตราส่วน P25:G50 คือ การแทนที่พลาสติกร้อยละ 25 และแทนที่เศษแก้วร้อยละ 50 ของมวลรวมละเอียดใน Hot Bin 1 ที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 50 (0.30 มิลลิเมตร) ทำให้คุณสมบัติมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนที่ P25:G25 และเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงเช่นกัน

ในส่วนการแทนที่ในอัตราส่วน P50:G25 ทำให้ค่าความหนาแน่นและค่า % VFA ไม่ผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐานการออกแบบของกรมทางหลวง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเกล็ดพลาสติกร้อยละ 50 ในการผสมเมื่อพลาสติกเกิดการหลอมละลายทำให้เกิดช่องว่างอากาศที่มากขึ้น จึงส่งผลต่อความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีตลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [5,6] แต่ในทางกลับกัน จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ของเศษแก้วในอัตราส่วนที่ร้อยละ 50 และพลาสติกร้อยละ 50 (P50:G50) ทำให้ค่าของร้อยละช่องว่างอากาศลดลงและค่า % VFA เพิ่มขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับงานวิจัย [8,9] ที่แสดงให้เห็นว่า เศษแก้วสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของ %VFA และ AV ได้

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบเกณฑ์การทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลล์ตามมาตรฐานกรมทางหลวง

การทดสอบ		AC	P25:G25	P25:G50	P50:G25	P50:G50	ค่าที่ยอมได้ [12,13,14]
Asphalt Cement (%)		5.60	5.60	5.60	5.30	5.50	3.0-6.0
Density	g/ml	2.449	2.452	2.450	2.318**	2.323**	2.449-2.459
Stability	lbs.	2,580	2,350	2,190	2,560	3,000	> 1,800
Flow	0.01 in	12.00	11.50	9.75	12.50	13.80	8.0-16.0
AV	%	3.75	3.00	3.50	4.85	4.35	3.0-5.0
VMA	%	16.15	15.45	15.95	15.48	15.86	>14
VFA	%	77.00	80.05	78.00	68.70**	72.50	72-81

*หมายเหตุ ** ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบที่ยอมได้ของกรมทางหลวง [12 13 14]*

5. บทสรุป

การศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะทะเลจากเกล็ดพลาสติกและเศษแก้วด้วยวิธีมาร์แชลล์ โดยทำการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้เฉพาะงาน (Job-Mix Formula) ของวัสดุมวลรวมคละขนาดในยุ้งหินร้อน (Hot Bin)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายฤทธิเกียรติ์ อินทรชูด และนายดนุเดช ผดุงชาติ นักศึกษาหลักสูตรวิชาวิศวกรรมโยธา ที่มีส่วนช่วยในการดำเนินงานของงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดีรวมถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณหลักสูตรวิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และสุดท้ายขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Chanthamas, Y. & Israngkura, A., 2021. ***Marine garbage, the national agenda must not neglect the community***. [Online] Available at: https: / / tdri. or. th/ 2021/ 06/ world_ oceanday/ [Accessed 20 December 2022]. (in Thai)

[2] Ahmadinia, E. et al., 2011. Using waste plastic bottles as additive for stone mastic asphalt. ***Materials & Design*** 32(10), pp. 4844-4849.

[3] Modarres, A. & Hamedi, H., 2014. Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes. ***Materials & Design*** Volume 61, pp. 8-15.

[4] Appiah, J. K., Berko-Boateng, V. N. & Tagbor, T. A., 2017. Use of waste plastic materials for road construction in Ghana. ***Case Studies in Construction Materials*** Volume 6, pp. 1-7.

[5] Lakas, W., Setthapun, W. & Lucksiri, K., 2017. Process of Asphaltic Concrete Pavement Construction to Reduce Plastic Waste Problems in the Community. ***Academic Journal Uttaradit University*** 12(1), pp. 41-53..

[6] Charoenkij, S., Doungsoma, T. & Jaritngam, S., 2021.

.

(Online Conference) Thailand, **The 26th National Convention on Civil Engineering**, pp. TRL-29-1 - TRL-29-6.

[7] Salem, Z