

การใช้คอนกรีตรีไซเคิลเพื่อทดแทนมวลรวมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน Utilization of Recycled Concrete as Aggregate for Hot Mix Asphalt Concrete

กรกฎ นุสิทธิ์¹ วรณิกา ชันคำนัน๊ะ^{2,*} ณัฐนันท์ คุ่มครุฑ³
กริชชัย แก้วมา⁴ ภัทรพงศ์ สังข์ป้อม⁵ ยอดชาย สิงห์ทอง⁶ พลปรีชา ชิตบุรี⁷ และ กำพล ทรัพย์สมบูรณ์⁸

^{1,4,5,7,8} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จ.พิษณุโลก

² สาขาวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จ.พิษณุโลก

³ บริษัท อินฟรา พลัส จำกัด กรุงเทพฯ

⁶ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

*Corresponding author; E-mail address: wannika.k@psru.ac.th

บทคัดย่อ

วัสดุมวลรวมธรรมชาติ (NA) ที่ได้จากอุตสาหกรรมการทำเหมืองหินหรือโรงโม่หิน เป็นวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างทุกประเภทรวมถึงงานถนน โดยวัสดุมวลรวมเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างผิวทางกว่าร้อยละ 80 ส่งผลทำให้การก่อสร้างถนนในแต่ละโครงการต้องใช้วัสดุมวลรวมธรรมชาติเป็นจำนวนมาก ความต้องการใช้วัสดุมวลรวมธรรมชาติเพื่อใช้ในการก่อสร้างจึงเพิ่มตามไปด้วย สวนทางกับกำลังการผลิตวัสดุมวลรวมธรรมชาติที่มีอย่างจำกัด ทำให้มีการสำรวจและพัฒนาเทคโนโลยีที่เป็นนวัตกรรมใหม่จำนวนมากเพื่อสำรวจและตรวจสอบความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุทางเลือกทดแทนวัสดุมวลรวมธรรมชาติ งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้คัดเลือกขยะและของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอน (C&DW) ประเภทคอนกรีต (Concrete) นำมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมทดแทนหรือวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (Recycled Concrete Aggregate, RCA) เพื่อใช้ในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ด้วยวิธีมาแชลล์ ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง โดยทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมและประสิทธิภาพการใช้งาน 3 ชนิด ได้แก่ แอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติ แอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวม RCA ร้อยละ 40 และแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวม RCA ร้อยละ 90 ใช้วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภท AC 60/70 เป็นวัสดุประสาน ผลการทดสอบพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุ RCA ร้อยละ 40 และแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุ RCA ร้อยละ 90 ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์สูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติ การทดสอบค่าเสถียรภาพและการไหล พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุ RCA ร้อยละ 40 และแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุ RCA ร้อยละ 90 ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง และจากการทดสอบหาค่าต้านทานแรงดึงทางอ้อม (IDT) พบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุ RCA ร้อยละ 40 และแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุ RCA ร้อยละ 90 มีค่าต้านทานแรงดึงทางอ้อมน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติ ที่ร้อยละ 1 และร้อยละ 16 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุ RCA ร้อยละ 40 และแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุ RCA ร้อยละ 90 มีต้นทุนค่าใช้จ่ายสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติ ร้อยละ 11 และร้อยละ 47 เนื่องจากวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุ RCA ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ในปริมาณที่มากกว่าอัตราส่วนผสมปกติ

คำสำคัญ: วัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล, วัสดุมวลรวมทดแทน, วัสดุผิวทางที่ยั่งยืน

Abstract

Natural aggregates (NA), obtained from rock quarry, are widely utilized in all construction projects, including road construction. Aggregates are employed for over 80% of the materials used for road construction. Consequently, road construction projects require substantial quantities of natural aggregates, leading to a growing demand that contrasts with the limited supply of these materials. This disparity leads to extensive research and the development of innovative technologies to explore and assess alternative materials that can replace natural aggregates. In this study, the construction and demolition waste (C&DW) was selected to produce Recycled Concrete Aggregate (RCA) as a substitute for natural aggregates. The RCA was utilized in asphalt concrete mix design using the Marshall method, in accordance with the standards of the Department of Highways. The study compared the engineering properties and performance of three asphalt concrete mixtures: (1) conventional asphalt concrete, (2) asphalt concrete containing 40% RCA, and (3) asphalt concrete containing 90% RCA. Asphalt cement type AC 60/70 was employed as the binder. The results indicated that asphalt concrete containing 40% RCA, and 90% RCA required a higher amount of asphalt cement compared to conventional asphalt concrete. The results from stability and flow tests demonstrated that both 40% RCA and 90% RCA asphalt concretes conformed to the Department of Highways standard. However, indirect tensile strength (IDT) tests revealed that the tensile resistance of asphalt concrete containing 40% RCA, and 90% RCA was 1% and 16% lower, respectively, than that of conventional asphalt concrete. The cost analysis revealed that asphalt concrete containing 40% RCA, and 90% RCA incurred higher costs—11% and 47% more, respectively—than conventional asphalt concrete. This cost increase is attributed to the higher asphalt cement content required for mixtures incorporating RCA.

Keywords: Recycled Concrete Aggregate, Replace Aggregate, Sustainable Pavement Material

1. คำนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีขยะและของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอน (C&DW) กว่าร้อยละ 70 พบว่าเป็นขยะและของเสียประเภทคอนกรีต (Concrete) ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นในทุกปี เนื่องมาจากการเติบโตอย่างรวดเร็วของการก่อสร้างโครงสร้างระบบสาธารณูปโภคภายในประเทศ แต่กลับพบว่าการจัดการขยะและของเสียจากงานก่อสร้างและการรื้อถอน (C&DW) มีอัตราการนำกลับมาใช้ซ้ำอยู่ในระดับต่ำ การเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้ประสบปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรธรรมชาติและปัญหาการจัดการของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอน และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการกำจัดขยะและของเสียในหลุมฝังกลบอาจทำให้สารประกอบที่อันตราย เช่น ซัลเฟต ยิปซัม และโลหะหนัก ถูกชะล้างลงสู่พื้นดิน การนำขยะและของเสียประเภทคอนกรีตกลับมาใช้ซ้ำเพื่อเป็นวัสดุทางเลือกทดแทนในงานวิศวกรรม ไม่เพียงแต่จะช่วยลดปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรธรรมชาติที่กำลังเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อวงการอุตสาหกรรมงานก่อสร้างเท่านั้น แต่ยังช่วยลดการปล่อยคาร์บอนที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตวัสดุสำหรับงานก่อสร้างจากเหมืองหินหรือโรงโม่หินได้อีกด้วย ตอบสนองต่อนโยบายระดับท้องถิ่นและนโยบายประเทศ และสอดคล้องกับ BCG Economy Model ในด้านการใช้เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ซึ่งเป็นการเน้นการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิต และการนำวัสดุเหลือทิ้งเดิมมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงทางอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำคอนกรีตที่เป็นขยะและของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอน (C&DW) ที่เรียกว่าวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (Recycled Concrete Aggregate: RCA) มาใช้ในงานก่อสร้างผิวทางถนน (Road Pavement) [1-3]

ผิวถนนหรือผิวทาง (Road Pavement) เป็นโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง มีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศและถือว่าเป็นการพัฒนาที่ยั่งยืน ซึ่งปัจจุบันมีโครงการก่อสร้างถนนขยายตัวไปในพื้นที่ต่างๆ เพิ่มขึ้น รวมถึงมีการขยายช่องจราจรเพื่อรองรับปริมาณการจราจรขนส่งที่สูงขึ้น ผิวทางหรือผิวถนนที่ใช้ภายในประเทศไทย ผลิตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติ (Natural Aggregate) ที่ได้จากการอุตสาหกรรมการทำเหมืองหินหรือโรงโม่หินซึ่งพบได้ทั่วทุกภาคของประเทศ ซึ่งใช้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างผิวทางกว่าร้อยละ 80 ส่งผลทำให้การก่อสร้างถนนในแต่ละโครงการต้องใช้วัสดุมวลรวมธรรมชาติ (NA) เป็นจำนวนมาก ความต้องการในวัสดุมวลรวมธรรมชาติเพื่อใช้ในงานก่อสร้างจึงมากเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากความต้องการวัสดุมวลรวมธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นในอุตสาหกรรมก่อสร้างต่างๆ สวนทางกับกำลังการผลิตวัสดุมวลรวมธรรมชาติที่มีอย่างจำกัด ทำให้มีการสำรวจและพัฒนาเทคโนโลยีที่เป็นนวัตกรรมใหม่จำนวนมากเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุทางเลือกทดแทน ได้แก่ ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิล (RAP) ถ้าวางแล้ว และวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) เป็นต้น วัสดุทดแทนเหล่านี้เมื่อนำมาปรับปรุงคุณสมบัติจะสามารถใช้เป็นวัสดุทางเลือกในการใช้เป็นวัสดุมวลรวมรีไซเคิลที่เป็นอัตราส่วนผสมหลักของการก่อสร้างผิวทาง ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหรือผิวทางยางมะตอย (Asphalt Concrete) เป็นผิวทางชนิดหนึ่งซึ่งพบมากในโครงข่ายทางหลวง เนื่องจากก่อสร้างสะดวก รวดเร็ว แข็งแรง และราคาถูก รวมถึงมีการบำรุงรักษาง่าย ทำให้ผิวทางชนิดนี้เป็นที่นิยมในการก่อสร้างประเทศไทยใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อน (Hot Mix Asphalt: HMA) ด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall) ตามมาตรฐาน ทล.-ม. 408/2532 [4] ในการก่อสร้างผิวทางทั่วประเทศ ส่วนผสมหลักของการก่อสร้างผิวทางได้แก่ วัสดุมวลรวมธรรมชาติ (NA) ที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพเชิงความร้อนที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะถูกรวบรวม Hot Bin ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Asphalt Cement) ซึ่งเป็นวัสดุได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม ในอัตราส่วนและอุณหภูมิที่เหมาะสม จะได้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ดีและมีคุณภาพ เป็นต้น

คณะผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) จากเศษคอนกรีตเหลือใช้จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดในห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับวัสดุมวลรวมธรรมชาติ (NA) ซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม ทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมเบื้องต้น เพื่อนำไปออกแบบอัตราส่วนผสมและหาปริมาณยางที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำไปทำการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของแอสฟัลต์คอนกรีต ได้แก่ การทดสอบเสถียรภาพและการไหล (Stability and flow) และการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบ และศึกษาถึงคุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

2. วัสดุ

2.1 วัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) จากเศษคอนกรีตที่เกิดจากการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ

สำหรับงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยทำการคัดเลือกวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) จากเศษคอนกรีตที่เกิดจากการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ ที่ได้จากการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ซึ่งโดยปกติแล้วในกระบวนการทดสอบจะใช้การทำลายตัวอย่างคอนกรีตเพื่อให้ทราบถึงความแข็งแรงและคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีต ซึ่งเศษคอนกรีตที่ได้หลังการทดสอบนั้นจะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่แตกออกจากตัวอย่างและอาจมีขนาดหรือรูปร่างที่ไม่สมบูรณ์ตามข้อกำหนดมาตรฐาน ส่วนใหญ่เศษคอนกรีตเหล่านี้ไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์เท่าที่ควรและอาจถูกนำไปจัดการในหลุมฝังกลบ



รูปที่ 1 วัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA)

2.2 วัสดุมวลรวม (Aggregate) ประเภทหินปูน (Limestone)

คณะผู้วิจัยทำการคัดเลือกวัสดุมวลรวมประเภทหินปูน (Limestone) จากแหล่งโรงโม่หินจังหวัดสุโขทัย ขนาด 3/4" ขนาด 1/2" ขนาด 3/8" และหินปูน หรือ Bin1 : Bin2 : Bin3 : Bin4 โดยเก็บตัวอย่างมาทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น ได้แก่ การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ, การทดสอบหาค่า Sand Equivalent, การทดสอบหาค่าความคงทน (Soundness), การทดสอบหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index), การทดสอบทดสอบหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index), การหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate และการทดสอบหาค่าการดูดซึมของแอสฟัลต์ของมวลรวม ตามมาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง



รูปที่ 2 วัสดุมวลรวมประเภทหินปูน

2.3 วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ชนิด AC 60/70

คัดเลือกวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ ชนิด AC 60/70 ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของการก่อสร้างงานผิวทาง หรือ ผิวถนน การใช้งานทำโดยให้ความร้อนกับแอสฟัลต์ซีเมนต์และวัสดุมวลรวม จนได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้วจึงผสมคลุกเคล้ากันในเครื่องผสม ตามอัตราส่วนที่คณะผู้วิจัยได้ออกแบบไว้ และนำไปใช้ในการออกแบบอัตราส่วนผสมด้วยวิธีมาร์แชล ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง



รูปที่ 3 วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ ชนิด AC 60/70

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

เตรียมวัสดุมวลรวม ทั้งวัสดุมวลรวมทางธรรมชาติ (NA) และวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานงานทางได้แก่ การหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ตามมาตรฐาน ทล.-ท.202/2515 “วิธีการทดสอบหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion (เทียบค่า ASTM C 131 และ C 535)” [5]

การหาขนาดของมวลรวม (Gradation tests) ตามมาตรฐานที่ ทล.-ท. 204/2516 “วิธีการทดสอบหาขนาด เม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง (เทียบเท่า AASHTO T 27-70)” ทล.-ท.205/2516 “วิธีการทดสอบหาขนาด เม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง (เทียบเท่า AASHTO T 27-70)” [6-7]

การทดสอบหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index) ตามมาตรฐาน ทล.-ท.210/2518 “วิธีการทดสอบหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index) [8]

การทดสอบหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index) ตามมาตรฐานที่ ทล.-ท.211/2518 “วิธีการทดสอบหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index) [9]

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ตามมาตรฐานที่ ทล.-ท. 207/2517 “วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดหยาบ (เทียบเท่า AASHTO T 85-70)” และมาตรฐานที่ ทล.ท. 209/2518 “วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด (เทียบเท่า AASHTO T 85-70)” [10-11]

3.2 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

จากการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวมธรรมชาติ (NA) และ วัสดุมวลรวมจากคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) คณะผู้วิจัยนำค่าข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม (Mix Proportion) โดยพิจารณาถึงคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อกำหนดและมาตรฐานของกรมทางหลวง โดยได้ออกแบบอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นผิวทาง Wearing Course 12.5 mm. ทั้งหมด 3 อัตราส่วนผสม คือวัสดุมวลรวมธรรมชาติต่อวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล NA: RCA ที่ 100:0, 40:60 และ 10:90

โดยจากการศึกษาที่ผ่านมา [12-16] พบว่าอัตราส่วนผสมวัสดุมวลรวมธรรมชาติต่อวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลที่ร้อยละ 60:40 เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

และที่อัตราส่วนผสมวัสดุมวลรวมธรรมชาติต่อวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลที่ร้อยละ 10:90 เป็นอัตราส่วนผสมสูงสุดที่คุณสมบัติด้านขนาดละเอียดเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบงานทางของกรมทางหลวง ที่ ทล.ม. 408/2532

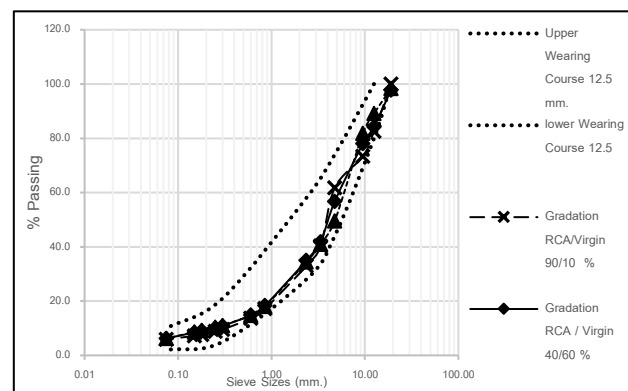
3.3 การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพการใช้งานของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยการทดสอบหาค่าเสถียรภาพและการไหล (Stability and flow) และการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) ตามมาตรฐานมาตรฐาน ASTM D6931

4. วิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวม

การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวม จะได้ค่าคุณสมบัติต่างๆเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบอัตราส่วนผสม โดยผลการออกแบบ Gradation ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการทดสอบขนาดละเอียดของวัสดุมวลรวม

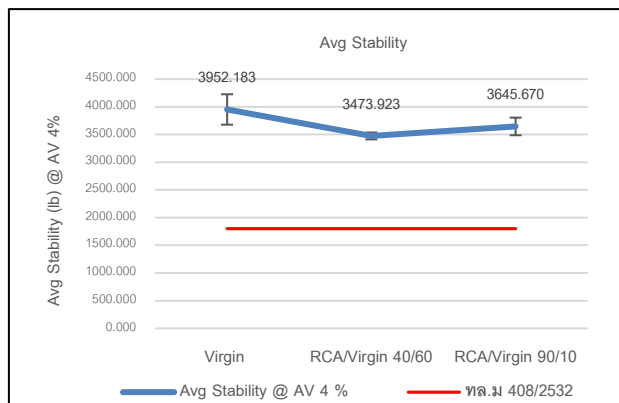
และจากผลการออกแบบอัตราส่วนผสม พบว่าทั้ง 3 อัตราส่วนผสมมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดและมาตรฐานการทดสอบงานทางของกรมทางหลวงที่ ทล.ม. 408/2532 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวม

Characteristics of aggregate		ฝุ่น	3/8"	1/2"	3/4"	Retain #4	Passing #4	DH-S 408/2532
Nature		Virgin (หินปูน)				RCA 1	RCA 2	
Source		จ.สุโขทัย				ห้องปฏิบัติการ		
Los Angeles Abrasion (%)	DH-T 202/2515	23.38				35.36		
Bulk Sp. Gr OD	DH-T 207/2517 DH-T 209/2518		2.653	2.691	2.687	2.207	2.722	
Apparent Spec Gravity	DH-T 207/2517 DH-T 209/2518		2.685	2.706	2.703	2.717	2.574	
Water Absorption (%)	DH-T 207/2517 DH-T 209/2518		0.46	0.20	0.22	6.738	10.481	
Flakiness Index (%)	DH-T 210/2518		17.62	27.10	26.93			<30
Elongation Index (%)	DH-T 211/2518		20.03	26.70	29.29			

4.2 ผลการทดสอบหาค่าเสถียรภาพ (Stability)

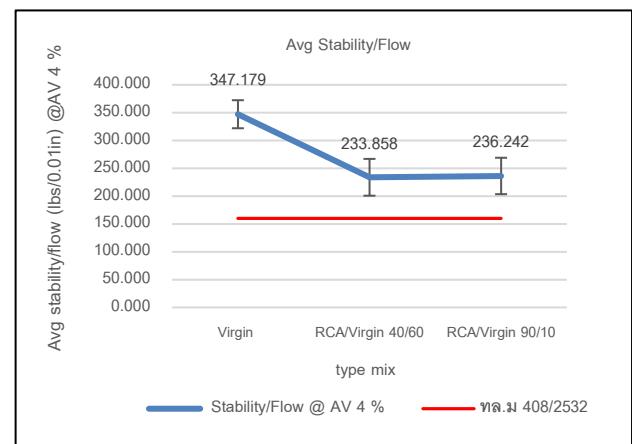
พิจารณาแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติ (Virgin) และวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) ที่ Air void ร้อยละ 4 พบว่าค่าเสถียรภาพของอัตราส่วนผสมทั้ง 3 อัตราส่วนผสม ให้ค่าคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนดและมาตรฐานงานทางที่ ทล.ม 408/2532 สำหรับส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) ผสมที่อัตราส่วนร้อยละ 40 และที่อัตราส่วนร้อยละ 90 ให้ค่าคุณสมบัติด้านเสถียรภาพ น้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติคิดเป็นร้อยละ 12 และร้อยละ 8 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าเสถียรภาพและมาตรฐาน ทล.-ม 408/2532

4.3 ผลการทดสอบหาค่าเสถียรภาพและการไหล (Stability and Flow)

พิจารณาค่าเสถียรภาพและการไหล (Stability and Flow) ของอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติ (Virgin) อัตราส่วนร้อยละ 100 แอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) อัตราส่วนร้อยละ 40 และแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) อัตราส่วนร้อยละ 90 พบว่าค่าคุณสมบัติด้านเสถียรภาพและการไหล ของอัตราส่วนผสมทั้ง 3 อัตราส่วนผสม ให้ค่าคุณสมบัติด้านเสถียรภาพและการไหลผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่ ทล.ม 408/2532 ในส่วนของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล อัตราส่วนร้อยละ 40 และอัตราส่วนร้อยละ 90 ให้ค่าเสถียรภาพและการไหล น้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติ ร้อยละ 33 และร้อยละ 32 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6



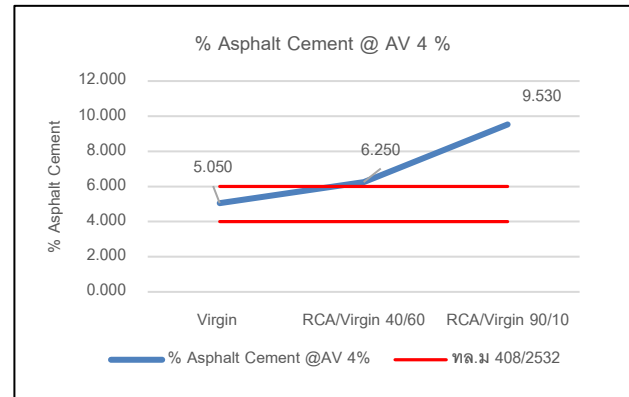
รูปที่ 6 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าเสถียรภาพและการไหลและมาตรฐาน ทล.-ม 408/2532

จากการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นต่างๆของตัวอย่างวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยการทดสอบ Marshall Density, Air Void, Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Bitumen (VFB), Marshall Stability, Flow และ Stability / Flow พบว่าทั้ง 3 อัตราส่วนผสมของ NA: RCA ที่ 100:0, 40:60 และ 10:90 แสดงคุณสมบัติของตัวอย่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นไปตามข้อกำหนดและมาตรฐานของงานทางที่ ทล.ม. 408/2532 โดยแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธี Marshall Test ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธี Marshall Test

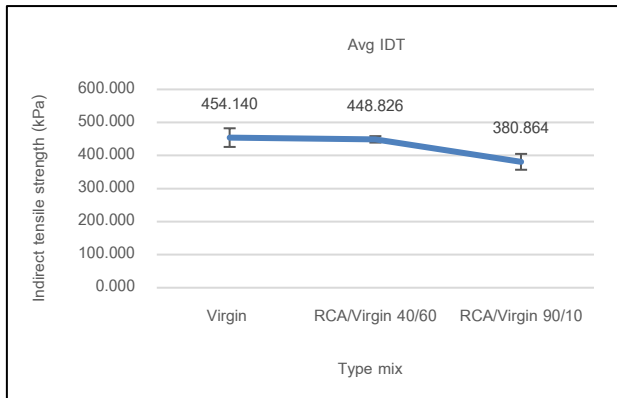
Marshall Characteristics	Unit	Mix1	Mix2	Mix3	DH-S 408/2532
			90/10	40/60	Wearing Course
Asphalt Cement (AC)	%	5.05	9.53	6.25	3.0-7.0
Compaction per face	Blows	75	75	75	75
Marshall Density	g/cm^3	2.40	2.05	2.19	-
Air Void	%	3.96	3.95	3.94	3-5

Marshall Characteristics	Unit	Mix1	Mix2	Mix3	DH-S
			90/10	40/60	408/2532 Wearing Course
Void in Mineral Aggregate (VMA)	%	14.69	20.98	16.04	>14
Void Filled with Bitumen (VFB)	%	73.03	81.20	75.42	-
Marshall Stability	lbs	3952.2	3441.8	3473.9	>1800
Flow 0.25 mm	0.01 in	11.39	15.68	15.12	8-16
Stability / Flow	Lbs/0.01 in	347	207	230	>160



4.4 ผลทดสอบหาค่าการต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength)

พิจารณาผลการทดสอบหาค่าการต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) ของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติ (Virgin) และวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) อัตราส่วนร้อยละ 100:0 60:40 และ 10:90 พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล อัตราส่วนร้อยละ 40 และที่อัตราส่วนร้อยละ 90 มีค่าเสถียรภาพและการไหลน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติคิดเป็นเปอร์เซ็นต์อยู่ที่ 1 และ 16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพคุณสมบัติการต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม

4.5 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีตของวัสดุมวลรวมธรรมชาติ และวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล พบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 8

รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลต์ซีเมนต์และมาตรฐาน ทล.ม. 408/2532

4.6 การประมาณราคาวัสดุที่ใช้ในงานปูผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต Wearing Course 12.5 mm

จากผลการออกแบบอัตราส่วนผสมและการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของตัวอย่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และประมาณราคาการประมาณราคาวัสดุที่ใช้ในงานปูผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตได้แก่ การประมาณราคาวัสดุที่ใช้ในงานปูผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต Wearing Course 12.5 mm การประมาณราคาวัสดุที่ใช้ในงานปูผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติ (Virgin) อัตราส่วนร้อยละ 100 การประมาณราคาวัสดุที่ใช้ในงานปูผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) อัตราส่วนร้อยละ 40 และการประมาณราคาวัสดุที่ใช้ในงานปูผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) อัตราส่วนร้อยละ 90

พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตจากมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล อัตราส่วน RCA ร้อยละ 90 และอัตราส่วน RCA ร้อยละ 40 จะมีราคาสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติ ร้อยละ 47 และร้อยละ 11 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3 ราคาวัสดุมวลรวมใหม่และวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA)

	3/4"	1/2"	3/8"	ฝุ่น	RCA		
					RCA1	RCA2	
ราคาวัสดุ มวลรวม (บาท / ลบ.ม.)	400	400	300	300	100	100	
อัตราส่วน ของวัสดุ มวลรวม (%)	0.03	0.21	0.33	0.43	-	-	Virgin
	0.03	0.04	0.18	0.35	0.29	0.11	40/60
	-	-	-	0.1	0.51	0.39	90/100

ตารางที่ 4 ผลการประมาณราคาวัสดุที่ใช้ในงานปูผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุมวลรวมธรรมชาติ (Virgin) ที่อัตราส่วนร้อยละ 100

รายการ	รายละเอียด	ราคา	หน่วย
การติดตั้ง เครื่องผสม	250,000/10,000	25.00	บาท/ตัน

แอสฟัลต์ ซีเมนต์	5.05 = 0.0505 ตัน @24,500 บาท/ ตัน = 24,000x0.0505	1237.25	บาท/ตัน
วัสดุ รวม	(400*0.03) +(400x0.21) +(300x0.33) +(300x0.43)	324	บาท/ตร.ม.
	0.74x324	239.76	บาท/ตัน
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมสภาพ (งานผิวทาง แอสฟัลต์คอนกรีต : ค่าแอสฟัลต์คอนกรีต)		383.21	บาท/ตัน
ค่าขนส่งในสายทาง 1.000 (ปกติใช้ L/4)		8.14	บาท/ตัน
รวม	25+1237.25+239.76+383.21+8.14	1893.36	บาท/ตัน
ค่า งาน ต้นทุนวัสดุ (ความหนา 5 ซม.)	1893.36/8.33	227.29	บาท/ตัน
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อม (งานผิวทางแอสฟัลต์ : งานปูลาดและบดทับ AC หนา 5 ซม.)		15.02	บาท/ตัน
ที่ความ หนา 5 ซม.	15.02x1	15.02	บาท/ตัน
ค่า งาน ต้นทุนรวม	227.29+15.02	242.31	บาท/ตัน

ตารางที่ 5 ผลการประมาณราคาวัสดุที่ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจาก
วัสดุผสมรวมคอนกรีตซีเมนต์ (RCA) อัตราส่วนร้อยละ 40

รายการ	รายละเอียด	ราคา	หน่วย
การติดตั้ง เครื่องผสม	250,000/10,000	25.00	บาท/ตัน
แอสฟัลต์ ซีเมนต์	6.25 = 0.0625 ตัน @24,500 บาท/ ตัน = 24,000x0.0625	1531.25	บาท/ตัน
วัสดุ รวม	(400*0.03) +(400x0.04) +(300x0.18) +(300x0.35) +(100x0.29) +(100x0.11)	227	บาท/ตร.ม.
	0.74x227	167.98	บาท/ตัน
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมสภาพ (งานผิวทาง แอสฟัลต์คอนกรีต : ค่าแอสฟัลต์คอนกรีต)		383.21	บาท/ตัน
ค่าขนส่งในสายทาง 1.000 (ปกติใช้ L/4)		8.14	บาท/ตัน
รวม	25+1531.25+167.98+383.21+8.14	2115.58	บาท/ตัน
ค่า งาน ต้นทุนวัสดุ (ความหนา 5 ซม.)	2115.58/8.33	253.97	บาท/ตัน
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อม (งานผิวทางแอสฟัลต์ : งานปูลาดและบดทับ AC หนา 5 ซม.)		15.02	บาท/ตัน
ที่ความ หนา 5 ซม.	15.02x1	15.02	บาท/ตัน
ค่า งาน ต้นทุนรวม	253.97+15.02	268.99	บาท/ตัน

ตารางที่ 6 ผลการประมาณราคาวัสดุที่ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจาก
วัสดุผสมรวมคอนกรีตซีเมนต์ (RCA) อัตราส่วนร้อยละ 90

รายการ	รายละเอียด	ราคา	หน่วย
การติดตั้ง เครื่องผสม	250,000/10,000	25.00	บาท/ตัน
แอสฟัลต์ ซีเมนต์	9.53 = 0.0953 ตัน @24,500 บาท/ ตัน = 24,000x0.0953	2334.85	บาท/ตัน
วัสดุ รวม	(100x0.51) +(100x0.39) +(300x0.1)	120	บาท/ตร.ม.
	0.74x120	88.8	บาท/ตัน
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมสภาพ (งานผิวทาง แอสฟัลต์คอนกรีต : ค่าแอสฟัลต์คอนกรีต)		383.21	บาท/ตัน
ค่าขนส่งในสายทาง 1.000 (ปกติใช้ L/4)		8.14	บาท/ตัน
รวม	25+2334.85+88.8+383.21+8.14	2840.00	บาท/ตัน
ค่า งาน ต้นทุนวัสดุ (ความหนา 5 ซม.)	2840.00/8.33	340.94	บาท/ตัน
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อม (งานผิวทางแอสฟัลต์ : งานปูลาดและบดทับ AC หนา 5 ซม.)		15.02	บาท/ตัน
ที่ความ หนา 5 ซม.	15.02x1	15.02	บาท/ตัน
ค่า งาน ต้นทุนรวม	340.94+15.02	355.96	บาท/ตัน

5. สรุปผล

จากการทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพการใช้งานของแอสฟัลต์
คอนกรีตที่ใช้วัสดุผสมรวมคอนกรีตซีเมนต์ (RCA) ในอัตราส่วนร้อยละ 90
และร้อยละ 40 พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตดังกล่าวมีคุณสมบัติด้านเสถียรภาพ
ต่อการไหลที่เป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนดและมาตรฐานของกรมทางหลวง
โดยพบว่าเสถียรภาพต่อการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุผสมรวม
คอนกรีตซีเมนต์ (RCA) ที่อัตราส่วนร้อยละ 40 และร้อยละ 90 มีค่าต่ำกว่า
กว่าแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุผสมรวมธรรมดาที่มีค่าเสถียรภาพต่อการ
ไหลที่ร้อยละ 33 และร้อยละ 32 ตามลำดับ

สำหรับการต้านทานแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength:
IDT) ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุผสมรวมคอนกรีตซีเมนต์ (RCA) ใน
อัตราส่วนร้อยละ 40 และร้อยละ 90 พบว่ามีค่าต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต
จากวัสดุผสมรวมธรรมดาที่มีค่าการต้านทานแรงดึงทางอ้อมที่ร้อยละ 1
และร้อยละ 16 ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการที่วัสดุผสมรวม
คอนกรีตซีเมนต์ (RCA) มีส่วนผสมของ Cement Plate ที่ยึดเกาะกับส่วน
ของวัสดุผสมรวม ส่งผลให้การต้านทานแรงดึงทางอ้อมมีค่าลดลง

ราคาค่าต้นทุนในการผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ชั้น Wearing Course
ขนาด 12.5 มิลลิเมตร ณ วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2567 สำหรับแอสฟัลต์
คอนกรีตที่ผลิตจากวัสดุผสมรวมคอนกรีตซีเมนต์ (RCA) โดยมีอัตราส่วน
RCA ร้อยละ 40 และร้อยละ 90 พบว่ามีราคาค่าต้นทุนสูงกว่าแอสฟัลต์
คอนกรีตที่ใช้วัสดุผสมรวมธรรมดาที่ร้อยละ 11 และร้อยละ 47 ตามลำดับ
สาเหตุที่ราคาค่าต้นทุนสูงกว่าคือ มีปริมาณการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม
(Optimum Asphalt Content : OAC) สูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุ
ผสมรวมธรรมดา

สำหรับการพิจารณานำไปใช้งาน ขึ้นอยู่กับเจ้าของงานพิจารณาในด้านความคุ้มค่าและต้นทุน

6. ข้อเสนอแนะ

5.1 งานวิจัยนี้เป็นเพียงการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุวัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) กลับมาใช้ใหม่ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้างผิวทาง

5.2 ในกระบวนการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล ผู้วิจัยควรควบคุมอุณหภูมิขณะผสม เพื่อลดความแปรปรวนของคุณสมบัติของตัวอย่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

5.3 ในกระบวนการทดสอบการบดอัดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลพบว่า Cement plate ที่ยึดเกาะวัสดุคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) เกิดการแตกตัวขณะบดอัด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทางภาควิชาชีพวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ เครื่องมือ และวัสดุต่างๆ สำหรับการทดสอบ

ขอขอบคุณ นางสาวปัทมา เกตุทิพย์ นางสาวปิยธิดา ตั้งจิต และนายภัทรพงศ์ สังข์ป้อม นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่มีส่วนร่วมในการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] การศึกษาแนวทางการจัดการเศษสิ่งก่อสร้างสำหรับประเทศไทย (2563). กรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหิดล และ German Technical Cooperation. ISBN 978-974-11-0836-7
- [2] อุษณีย์ อุยะเสียร และอังฉรา อัครจุฑกุลชัย (2550). การประเมินปริมาณและองค์ประกอบของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารในกรุงเทพมหานคร. Environment and Natural Resources Journal Vol.5, No.2, Dec 2007, หน้า 133-140.
- [3] การประยุกต์วัสดุรีไซเคิลสำหรับงานก่อสร้างถนนที่ยั่งยืนในประเทศไทย (2565). วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 32, ฉบับที่ 3 ก.ค.-ก.ย. 2565, หน้า 517-520.
- [4] กรมทางหลวง. มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt), มาตรฐานที่ ทล.-ม 408/2532. กรุงเทพมหานคร: 2532
- [5] วิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion, มาตรฐานที่ ทล.-ท. 202/2515. กรุงเทพมหานคร: 2515
- [6] กรมทางหลวง. วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง, มาตรฐานที่ ทล.-ท. 204/2516. กรุงเทพมหานคร: 2516
- [7] กรมทางหลวง. วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง, มาตรฐานที่ ทล.-ท. 205/2517. กรุงเทพมหานคร: 2517
- [8] กรมทางหลวง. วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index), มาตรฐานที่ ทล.-ท. 210/2518. กรุงเทพมหานคร: 2518
- [9] กรมทางหลวง. วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index), มาตรฐานที่ ทล.-ท. 211/2518. กรุงเทพมหานคร: 2518
- [10] กรมทางหลวง. วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ, มาตรฐานที่ ทล.-ท. 207/2517. กรุงเทพมหานคร: 2517
- [11] กรมทางหลวง. วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด, มาตรฐานที่ ทล.-ท. 208/2518. กรุงเทพมหานคร: 2518
- [12] Bastidas-Martínez, J. G., Reyes-Lizcano, F. A., & Rondón-Quintana, H. A. (2022). Use of recycled concrete aggregates in asphalt mixtures for pavements: A review. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 9(5), 725–741.
- [13] Ali, M. N., & Matha, B. S. (2021). Recycled asphalt pavement mixtures for road construction. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 8(2), 1058–1061.
- [14] Jitsangiam, P., Nusit, K., Nikraz, H., Leng, Z., Prommarin, J., & Chindaprasit, P. (2021). Dense-graded hot mix asphalt with 100% recycled concrete aggregate based on thermal-mechanical surface treatment. Journal of Materials in Civil Engineering, 33(7), 04211556.
- [15] Chuphonsat, A., Kulap, N., & Minaboon, N. (2016). A study of properties of asphalt concrete containing old concrete. Rajamangala University of Technology Rattanakosin.
- [16] ปัทมา เกตุทิพย์, ปิยธิดา ตั้งจิต และ ภัทรพงศ์ สังข์ป้อม (2567). การศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยแทนมวลรวมด้วยคอนกรีตรีไซเคิล (วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี). มหาวิทยาลัยนเรศวร