

ความต้านทานการลื่นไถลของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุผิวทางเดิมเป็นส่วนผสม Skid resistance of Asphalt Hot-mix Recycling

ณัฏฐวิทย์ เศรษฐยุทธพงษ์¹, กรกฏ นุสิทธิ์^{1*}, พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม², วีระชัย วงษ์วีระนิมิตร³, นันทวัฒน์ ลือสิงหนาท³
Nathanyawat Sedthayutthaphong¹, Korakod Nusit^{1*}, Peerapong Jitsangiam², Weerachai Wongweeranimit³,
Nuntawat Lersinghanart³

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

³บริษัท อินฟรา พลัส จำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai

³INFRAPLUS CO.,LTD., Bangkok

*Corresponding author e-mail: korakodn@nu.ac.th; Nathanyawat@outlook.co.th

(Received: 1 July 2020, Revised: 4 January 2021, Accepted: 14 January 2021)

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน ทรัพยากรที่เหมาะสมสำหรับใช้ก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีปริมาณลดน้อยลง ดังนั้น เพื่อลดการใช้ทรัพยากรใหม่ ในการก่อสร้างผิวทางจึงมีการนำวัสดุผิวทางเดิม (Reclaim Asphalt Pavement) มาปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยในอดีตส่วนมากมุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพการใช้งาน (Performance) ของแอสฟัลต์ คอนกรีตที่มีผิวทางเดิมเป็นส่วนผสม แต่งานวิจัยด้านการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตให้มีความปลอดภัย (Safety) เพียงพอนั้น ยังมีจำนวนจำกัดอยู่ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ เพื่อมุ่งเน้นในการคำนึงถึงมุมมองด้านความปลอดภัยตั้งแต่ขั้นตอนการ ออกแบบส่วนผสม จึงเป็นสาเหตุให้เกิดงานวิจัยเรื่องนี้ขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้มีการออกแบบสูตรส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วย วิธีมาร์แชลล์ (Marshall) ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง 3 ชนิด คือ 1) แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุผิวทางเดิมปริมาณ ร้อยละ 50 2) แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณผิวทางเดิมเป็นส่วนผสมทั้งหมด และ 3) แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมใหม่เป็น ส่วนผสมทั้งหมด และใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 เป็นวัสดุเชื่อมประสาน นำมาทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถล (Skid resistance) ด้วยเครื่องมือ British Pendulum Tester และ Dynamic Friction Tester โดยจำลองการเสื่อมสภาพของผิว ทางในระยะยาว (Long-Term deterioration) ด้วยเครื่องเร่งการขัดสี (Three-Wheel Polishing Device) จากผลการทดสอบ ตามมาตรฐานมาร์แชลล์พบว่า การเพิ่มปริมาณวัสดุผิวทางเดิมในส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต ส่งผลให้ค่าเสถียรภาพ (Stability) มีแนวโน้มสูงขึ้นและค่าการไหล (Flow) ลดลง สำหรับการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลของส่วนผสมทั้ง 3 ชนิดพบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมใหม่เป็นส่วนผสมทั้งหมดมีค่าความฝืดที่คำนวณตามมาตรฐาน International Friction Index มากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุผิวทางเดิมปริมาณร้อยละ 50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณผิวทางเดิม เป็นส่วนผสมทั้งหมดมีค่าความเสียดทานต่ำสุด โดยค่าความฝืดของแอสฟัลต์คอนกรีตในงานวิจัยนี้มีความสัมพันธ์กับผลการทดสอบ Los Angeles Abrasion แต่ไม่สอดคล้องกับผลการทดสอบ Polished Stone value (PSV)

คำสำคัญ: ความต้านทานการลื่นไถล, วัสดุผิวทางเดิม, ความปลอดภัยของผิวถนน, แอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน

Abstract

Recently, the resources for asphalt pavement construction have been decreased. Therefore, the asphalt hot-mix recycling was developed by using the recycled or reclaim asphalt pavement (RAP) as the asphalt concrete aggregates. The literature reviews indicate that the recent researches focused on the performances and strength

of asphalt hot-mix recycling, however, there are a few numbers of researches focusing on the safety issues of these materials. Accordingly, this research aims to evaluate the skid resistance of asphalt hot-mix recycling with different amount of RAP in the mixtures. Three types of asphalt concrete were designed according to the Marshall method; (1) the asphalt concrete with 50% of RAP, (2) the asphalt concrete with 100% of RAP, and (3) the asphalt concrete with no RAP. The asphalt binder grade AC60-70 was used as the supplementary binder for every asphalt concrete mixture in this research. The skid resistance of three asphalt mixtures were measured by British Pendulum Tester and Dynamic Friction Tester. The three-wheel polishing device was applied in order to simulate the long-term deterioration for each type of the mixtures. The strength test show that, as increasing amount of RAP, more stability of asphalt concrete mixture, however, less flow of the mixed materials. Moreover, the results show that asphalt concrete with no RAP product the skid resistance value greater than this value of asphalt concrete with 50% and 100% of RAP. This research reveals that the skid resistance of asphalt concrete is relate to the results of Los Angeles Abrasion test, but not for the Polished Stone Value (PSV) test.

Keywords: Skid Resistance, Reclaim Asphalt Pavement, Road Safety, Hot-Mix Asphalt

1. บทนำ

ในปัจจุบันโครงข่ายถนนทั่วประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองทางด้านระบบคมนาคม ซึ่งร้อยละ 90 เป็นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ในขณะที่ปริมาณการใช้งานที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้ผิวทางเสื่อมสภาพหรือได้รับความเสียหาย ส่งผลต่อความปลอดภัย (Safety) เช่นประสิทธิภาพการใช้งานลดลง ความเสียหายหรือความผิดของผิวทางไม่เพียงพอ อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนจึงต้องซ่อมแซมหรือทำการก่อสร้างถนนใหม่ ซึ่งส่งผลทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดลดน้อยลง จากการศึกษางานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ พบว่าวัสดุผิวทางเดิม (Reclaim Asphalt Pavement, RAP) ที่ได้จากการขุดหรือผิวทางเก่าเป็นอีกทางเลือกที่สามารถนำกลับมาใช้ผิวทางใหม่ได้

งานวิจัยของ Hu et al. (2012) ได้นำวัสดุผิวทางเดิม (RAP) มาเป็นส่วนผสมในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต และทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานพบว่าเมื่อใช้ปริมาณผิวทางเดิมในปริมาณมากขึ้นจะช่วยเพิ่มค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อ แต่ความต้านทานการเสียหายเนื่องจากความชื้น และประสิทธิภาพการทำงานที่อุณหภูมิต่ำจะลดลง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวิจัยของ Izaks et al. (2015) เมื่อใช้ปริมาณผิวทางเดิมเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ แต่ความต้านทานความล้าลดลง และเมื่อเติมแอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุเชื่อมประสานในผิวทางเดิมจะช่วยเพิ่มความทนทาน และต้านทานความล้าได้ดี โดยงานวิจัยส่วนมากนิยมศึกษาทางด้านประสิทธิภาพการใช้งาน (Performance) ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของผิวทางเดิม และให้ผล

การศึกษาที่แตกต่างกันไปเนื่องจากคุณสมบัติ และการออกแบบส่วนผสมของวัสดุผิวทางเดิมที่มีความแตกต่างกัน ในการออกแบบวัสดุผิวทางให้มีความปลอดภัยนั้น มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเสียหายหรือค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นทาง (Austroads, 2011; American Society for Testing and Materials, 2011; Chulalongkorn University Transportation Institute, 2013; Chulalongkorn University Transportation Institute, 2015) ด้วยเหตุนี้ คุณสมบัติด้านความเสียหายและการต้านทานการลื่นไถลของพื้นทาง จึงเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่จะส่งเสริมให้เกิดความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนนเพิ่มขึ้น และการศึกษาในประเด็นนี้ยังไม่มีมากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดศึกษาในด้านความปลอดภัย (Safety) ของวัสดุที่ใช้ทำผิวทางโดยนำวัสดุผิวทางเก่า (RAP) มาเป็นส่วนผสม และออกแบบส่วนผสมด้วยวิธีมาร์แชลล์ตามมาตรฐานกรมทางหลวง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนามาตรฐานการออกแบบผิวทางของประเทศไทยในอนาคต

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ มีขั้นตอนการดำเนินงาน แสดงในแผนผังวิธีการทำงาน ดังรูปที่ 1

2.2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

2.2.1 วัสดุผิวทางเดิม (RAP)

วัสดุผิวเดิมไม่ผ่านกระบวนการคัดแยกขนาดจำนวน 1 แหล่ง อายุของผิวทางก่อนการขุดลอก 4-5 ปี ซึ่งเป็นวัสดุ

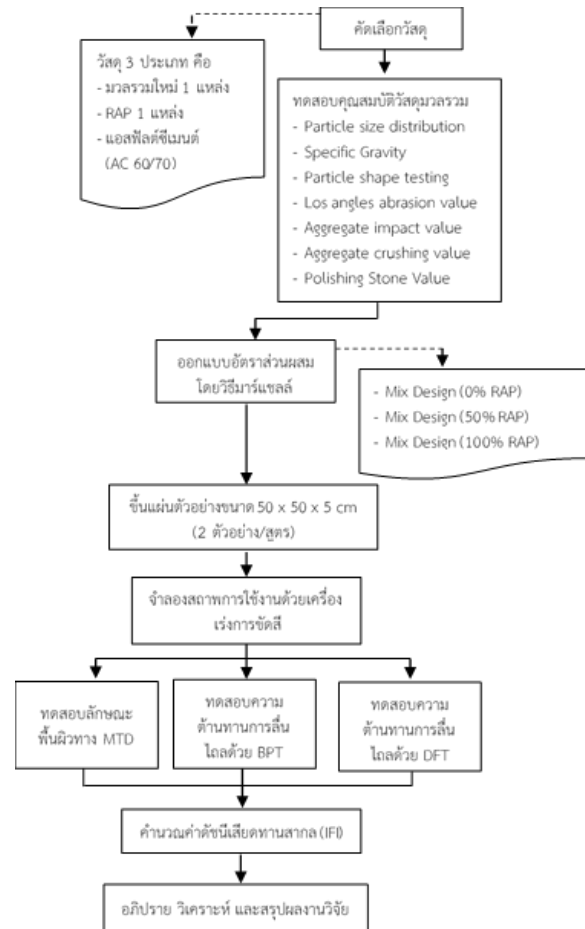
ที่เหมาะสมสำหรับนำกลับมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมสำหรับ
ปูผิวทางใหม่ และมีคุณสมบัติให้เป็นไปตามมาตรฐานของ
กรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 410/2542



รูปที่ 2 วัสดุผิวทางเดิม (RAP)

2.2.2 วัสดุมวลรวมใหม่ (Virgin Aggregates)

วัสดุมวลรวมใหม่ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นหินปูน (Limestone)
เนื่องจากในการก่อสร้างสายทางบริเวณพื้นที่นี้ใช้หินปูน และ
มีแหล่งผลิตเพียงไม่กี่แหล่งที่ใช้ในการสร้างถนน ซึ่งวัสดุมวล
รวมเก็บจากยุงหินร้อน (Hot Bin) จำนวน 1 แหล่งจากโรงโม่
หินสุวรรณ จังหวัดสุโขทัย ทั้ง 4 ยุงหิน ประกอบด้วย Bin
ที่มีขนาด NAMS (Nominal Aggregate Maximum Size)
ขนาด 3/4 นิ้ว (Bin 4) ขนาด 1/2 นิ้ว (Bin 3) ขนาด 3/8 นิ้ว
(Bin 2) และหินฝุ่น (Bin 1) วัสดุมวลรวมใหม่มีคุณสมบัติตาม
มาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 408/2532



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3 วัสดุมวลรวมใหม่ (Virgin Aggregates)

2.2.3 แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt cement)

แอสฟัลต์ซีเมนต์ใช้เกรด 60-70 ตามข้อกำหนดของกรมทาง
หลวงที่ ทล.- ก. 401/2531 “Specification for Asphalt
Cement”

2.3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การกำหนดตัวแปรสำหรับการศึกษาในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ตัวแปรตาม (Independent variable) คือ ค่าความต้านทานการลื่นไถล (Skid resistance) ซึ่งขึ้นอยู่กับ ตัวแปรต้น (Dependent variable) หลายตัวแปร อาทิเช่น 1) ปริมาณวัสดุผิวทางเดิม (RAP) 2) คุณสมบัติของมวลรวม 3) อายุการใช้งาน 4) ลักษณะพื้นผิว และ 5) สภาพแวดล้อม เช่น สภาพเปียก-แห้ง สิ่งเปรอะเปื้อน อุณหภูมิ และฤดูกาล เป็นต้น

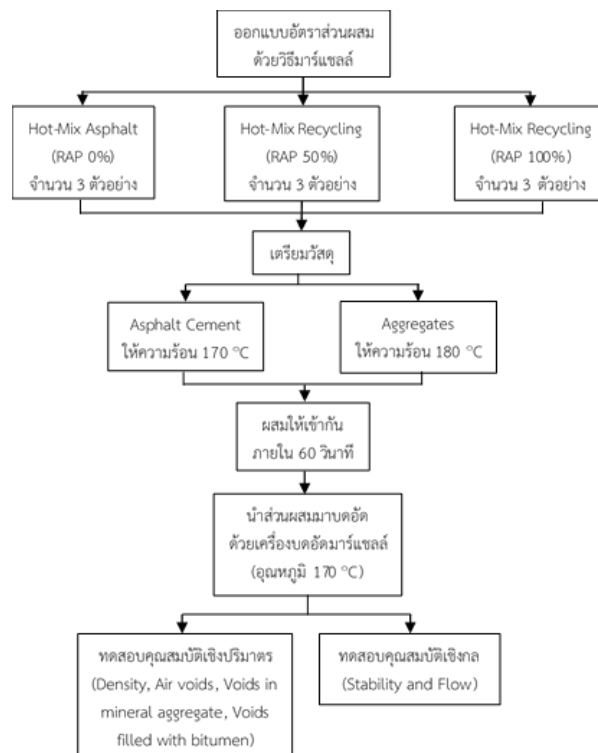
แต่สำหรับการศึกษานี้กำหนดตัวแปรต้น ทั้งหมด 4 ตัวแปร เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สามารถทดสอบและหาค่าได้ในระหว่างการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งประกอบด้วย 1) ปริมาณวัสดุผิวทางเดิม (การออกแบบส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 3 สูตรส่วนผสม) 2) คุณสมบัติของมวลรวม สำหรับประเมินค่าความต้านทานการลื่นไถล สามารถหาได้จากการทดสอบ Polishing Stone Value และ Los Angeles Abrasion ซึ่งเป็นการทดสอบที่กล่าวถึงลักษณะพื้นผิวของมวลรวมที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสี 3) ความขรุขระของพื้นผิว สามารถหาได้จากการทดสอบ Sand Patch Method (SPM) และ 4) อายุการใช้งานของวัสดุผิวทาง

2.3.1 การออกแบบสูตรส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต

สำหรับการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณผิวทางเดิมเป็นส่วนผสมทั้งหมด และแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุผิวทางเดิมปริมาณร้อยละ 50 อ้างอิงมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 410/2542

และการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมใหม่เป็นส่วนผสมทั้งหมด อ้างอิงตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 408/2532 โดยกำหนดอัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมเป็น 50:20:15:15 (ร้อยละของหิน Bin 1: Bin 2: Bin 3: Bin 4)

ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสม แสดงในแผนผังวิธีการออกแบบส่วนผสม ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนผังวิธีการออกแบบส่วนผสม

2.3.2 การจำลองสภาพการใช้งาน และการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถล ของแอสฟัลต์คอนกรีต

ในงานวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งประกอบไปด้วย 3 สูตรส่วนผสม คือ 1) แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุผิวทางเดิมปริมาณร้อยละ 50 2) แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณผิวทางเดิมเป็นส่วนผสมทั้งหมด และ 3) แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมใหม่เป็นส่วนผสมทั้งหมด

1. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1) เตรียมวัสดุมวลรวม และแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามอัตราส่วนผสม โดยใช้วัสดุมวลรวม 5 กิโลกรัมต่อ 1 ตัวอย่าง

2) นำวัสดุมวลรวมเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และให้ความร้อนแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

3) ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน และนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

4) เตรียมแบบหล่อสำหรับขึ้นแผ่นตัวอย่างขนาด 50 x 50 มม 5 เซนติเมตร เทส่วนผสมลงในแบบหล่อทำการบดอัดด้วยเครื่องตบดินแบบเดินตาม (Walk- behind Compactor)

5) พึ่งตัวอย่างไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำออกจากแบบหล่อ



รูปที่ 5 แผ่นตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต

2. การจำลองสภาพการใช้งานแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยเครื่องเร่งการขัดสี (Three-Wheel Polishing Device: TWPD)

สำหรับงานวิจัยนี้ดำเนินการจำลองสภาพผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผ่านการใช้งานโดยใช้เครื่องเร่งการขัดสี (TWPD) ซึ่งมีอ้างอิงงานวิจัยจากของ National Center for Asphalt Technology (NCAT) แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา โดยทำการศึกษาพฤติกรรมการสูญเสียค่าความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance) ของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้เครื่องมือเร่งการขัดสี (TWPD) ซึ่งเครื่องมือประกอบไปด้วยล้อขนาด 8 x 3 นิ้ว จำนวน 3 ล้อโดยล้อทั้ง 3 ยึดติดอยู่กับแผ่นจานหมุน (Circular Iron Plates) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11-3/16 นิ้ว ควบคุมด้วยมอเตอร์ โดย Omega Digital Counter เป็นตัวนับจำนวนรอบสะสม และระหว่างการทดสอบจะจำลองสภาพผิวถนนแบบเปียก (Vollor & Hanson, 2016)



รูปที่ 6 เครื่อง Three-Wheel Polishing Device (TWPD)

โดยการจำลองสภาพการใช้งานด้วยเครื่องเร่งการขัดสี มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

- 1) เตรียมแผ่นตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อบรรจุเข้าเครื่องเร่งการขัดสี (TWPD)
- 2) ตั้งค่าจำนวนรอบการหมุนของการขัดสีอยู่ที่ 100 รอบต่อนาที
- 3) เปิดเครื่องเร่งการขัดสีพร้อมตั้งค่าจำนวนรอบการขัดโดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ NCAT (0, 5,000, 10,000, 15,000, 25,000, 50,000 และ 100,000 รอบ)



รูปที่ 7 การทดสอบการขัดสีด้วยเครื่อง TWPD

3. การทดสอบความหนาเฉลี่ย (Mean Texture Depth, MTD) ของพื้นผิวแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธี Sand Patch Method (SPM) เพื่อหาค่าความขรุขระของพื้นผิว

เป็นการวัดโดยอาศัยวิธี Volumetric-Based หรือการวัดเชิงปริมาตรซึ่งจะเป็นการวัดลักษณะพื้นผิว Macro-Texture โดยการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E 965 หรือ ISO 10844

- 1) เตรียมทราย (Ottawa) ที่ทราบความหนาแน่น (Density) และน้ำหนัก (Weight) เกล็ดบนแผ่นตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตให้แผ่เป็นรูปวงกลม
- 2) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรายที่ทำการเกลี่ยบนแผ่นตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตพร้อมทั้งหาพื้นที่ (Area)
- 3) นำค่าได้จากการทดสอบมาคำนวณหาความหนาเฉลี่ยของพื้นผิวแอสฟัลต์คอนกรีต (Texter depth)

หมายเหตุ ดำเนินการทดสอบ MTD ก่อนการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลของแผ่นตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตก่อน และภายหลังการจำลองสภาพการใช้งาน



รูปที่ 8 การทดสอบ MTD ด้วยวิธี Sand Patch Method (SPM)

4. การทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลหรือค่าความเสียดทาน (Skid Resistance)

1) ทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลด้วยเครื่องมือทดสอบ British Pendulum Tester (BPT) อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E303

● เครื่องมือทดสอบ

- a. British Pendulum Tester (BPT) โดยใช้แผ่นยางทดสอบรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้าขนาด 25 x 76 มม 6 มิลลิเมตร ยึดติดกับแผ่นอลูมิเนียม
- b. เครื่องวัดอุณหภูมิ สำหรับวัดอุณหภูมิผิวหน้าตัวอย่าง



รูปที่ 9 การทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลด้วยเครื่องมือ BPT ก่อนการจำลองสภาพการใช้งาน

- การทดสอบ

a. ประกอบชุดขาตั้งเครื่อง และปรับระดับฐานด้วยสกรูปรับระดับ พร้อมวางเครื่องมือทดสอบ BPT บนแผ่นตัวอย่างทดสอบ

b. ตั้งค่าศูนย์โดยการปล่อยแขนลูกตุ้มเหวี่ยงในแนวตั้งให้เข็มอ่านค่าหยุดที่ตำแหน่งเลขศูนย์

c. วัดระยะยดระหว่างยางทดสอบบนหัวลูกตุ้มกับผิวหน้าตัวอย่างให้ได้ระยะ 12.5 เซนติเมตร วัดอุณหภูมิ พร้อมสเปรย์น้ำให้เปียกทั้งผิวตัวอย่าง และยางทดสอบ

d. ปล่อยแขนลูกตุ้มเหวี่ยงในแนวตั้งพร้อมอ่านที่แสดงบนหน้าปัดในเครื่องทดสอบ BPT ทำซ้ำกัน 5 ครั้ง บันทึกผล

e. เมื่อทดสอบเสร็จแล้วให้หมุนเครื่องทดสอบอีกด้าน และทำซ้ำแบบเดิม

หมายเหตุ ทดสอบแผ่นตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตก่อน และหลังการจำลองสภาพการใช้งาน



รูปที่ 10 การทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลด้วยเครื่องมือ BPT ภายหลังการจำลองสภาพการใช้งาน

2) ทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลด้วยเครื่องมือทดสอบ Dynamic Friction tester (DFT) อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E1911

- เครื่องมือทดสอบ

a. ฐานหมุนและจานหมุน (Fly wheel) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 350 มิลลิเมตร เชื่อมติดกับ Spring Balance

b. แผ่นยาง (Rubber slider) 3 แผ่นติดอยู่บนจานหมุนระยะห่างเท่ากัน แต่ละแผ่นรับน้ำหนักจากเครื่องข้างละ 11.8 นิวตัน

c. ถังน้ำเลี้ยง (Water Supply) ที่อยู่สูงกว่าเครื่องทดสอบ 0.6 เมตร

d. เครื่องวัดอุณหภูมิ สำหรับวัดอุณหภูมิผิวหน้าตัวอย่าง

- การทดสอบ

a. วางเครื่องทดสอบ DFT ลงบนแผ่นตัวอย่าง พร้อมเชื่อมต่อเครื่องทดสอบกับคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลทดสอบ

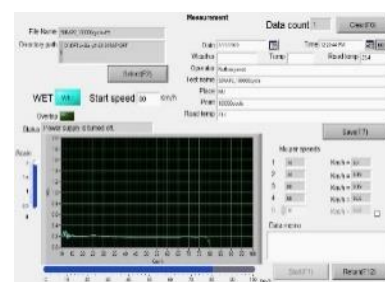
b. เปิดเครื่อง DFT พร้อมน้ำหล่อเลี้ยงระหว่างทดสอบเพื่อสร้างชั้นฟิล์ม

c. เครื่องจะทำการหมุนโดยมีรอบความเร็วสูงสุดที่ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยจะแสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

หมายเหตุ ทดสอบแผ่นตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตก่อน และหลังการจำลองสภาพการใช้งาน



รูปที่ 11 การทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลด้วยเครื่องมือ DFT ภายหลังการจำลองสภาพการใช้งาน



รูปที่ 12 ผลทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลด้วยเครื่องมือ DFT

2.3.3 การทดสอบคุณสมบัติวัสดุรวมเพื่อประเมินค่าความต้านทานการลื่นไถล

1. Polishing Stone Value Test (PSV) อ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบของ B.S. 812 (1967) สำหรับงานวิจัยได้กำหนดตัวแปรต้น (Dependent variable) ได้แก่ พื้นผิววัสดุรวม (Micro-Texture) ตัวแปรตาม (Independent variable)

ได้แก่ อัตราการลดลงของความต้านทานการลื่นไถลในเบื้องต้น ตัวแปรควบคุม (Control Variable) ได้แก่ จำนวนรอบการขัดสี ในการทดสอบตัวอย่างวัสดุรวม

1) เครื่องมือทดสอบ

a. เครื่องมือการขัดสี (Accelerated Polishing Machine)

b. British Pendulum Tester (BPT) โดยใช้แผ่นยาง ทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3.1 หนา 0.6 เซนติเมตร ยึดติด กับแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นยางต้องมีอายุน้อยกว่า 6 เดือน และมีคุณสมบัติดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติค่า Resilience % และ Hardness, IRH degree จำแนกตามอุณหภูมิ (BS 812-114:1989)

คุณสมบัติ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
	0	10	20	30	40
Resilience %	42 - 47	55 - 62	61 - 68	64 - 71	66 - 73
Hardness, IRH degree	55 ± 5				

2) การเตรียมตัวอย่าง

a. ตัวอย่างหินผ่านตะแกรง 9.52 มิลลิเมตร. (BS) ค้างบน ตะแกรง 7.94 มิลลิเมตร ตัวอย่างหินมีหน้าเรียบ ไม่แบน ไม่ยาว เกินไป

b. นำตัวอย่างหินมาล้างให้สะอาด และผึ่งให้แห้ง

c. เตรียมแบบหล่อ (Mold) พร้อมทาน้ำมัน

d. เรียงเม็ดหินลงในแบบหล่อ จำนวน 4 แบบหล่อ

e. โรยทรายละเอียดตามร่องระหว่างเม็ดหิน และฉีดน้ำให้ ทรายเปียก ทำการวางเหล็กเสริมขนาด 1.2 มิลลิเมตร

f. หล่อด้วยปูนทรายอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเมื่อปูน ทรายแข็งตัว ให้ปาดผิวหน้าให้เรียบ

g. บ่มตัวอย่างที่หล่อในแบบ 24 ชั่วโมงคลุมด้วยผ้าเปียก

h. ถอดตัวอย่างออกจากแบบ และนำไปแช่น้ำ 7-14 วัน โดยคว่ำตัวอย่างลง



รูปที่ 13 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบ PSV

3) การขัดแผ่นตัวอย่างด้วยเครื่องขัด (Accelerated Polishing Machine)

a. นำตัวอย่างมาจัดเรียงในวงล้อเหล็ก และเดินเครื่อง ดำเนินขัดแผ่น 3 ชั่วโมงแรกขัดด้วยผงหยาบ ปลอยผงหยาบ ด้วยอัตรา 20-35 กรัมต่อนาที และปลอยน้ำจากขวดที่ติดอยู่ ด้านบนเครื่องทดสอบ

b. หยุดเครื่อง และดำเนินการขัดแผ่น 3 ชั่วโมงขัดด้วยผง ละเอียด เมื่อดำเนินการขัดเสร็จเรียบร้อยให้ฉีดน้ำทำความสะอาด แผ่นตัวอย่าง และทำความสะอาดเครื่องขัด



รูปที่ 14 ทำการขัดตัวอย่างด้วยเครื่องขัด

4) การทดสอบหาค่าเฉลี่ย PSV โดยใช้เครื่อง BPT

a. ปรับเครื่องมือโดยปรับระดับน้ำที่ฐานเครื่อง

b. ทดลองแกว่งเปล่า ๆ โดยไม่สัมผัสกับตัวอย่างเข็มต้องชี้ ที่เลข 0

c. เมื่อปรับเรียบร้อยแล้วจึงนำตัวอย่างเข้าที่จับ (C - clamp)

d. เลื่อนแขนแกว่งให้สัมผัสตัวอย่างเป็นระยะ 7.6 ± 0.1 เซนติเมตร

e. รดน้ำแผ่นตัวอย่างแล้วกดปุ่มปลอยแขนแกว่งให้แขน แกว่งสัมผัสตัวอย่างอ่านค่า PSV จากแผ่นดัชนี

f. อ่านค่าที่ได้จากการทดลอง 5 ครั้ง บันทึกค่าที่อ่านไว้ ค่า PSV เฉลี่ยของตัวอย่างหินแต่ละแผ่นจะสามารถคำนวณได้จาก ค่าที่อ่านได้ 3 ครั้งหลังและค่า PSV เฉลี่ยทั้งหมดจะได้รับการ เฉลี่ยจากตัวอย่างทั้ง 4 แผ่นอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 15 ทดสอบ PSV โดยใช้เครื่อง BPT

การหาค่า PSV จะกระทำ 2 ครั้ง คือ ทดลองก่อนขัดตัวอย่างด้วยเครื่องขัดเรียกว่า ค่า PSV ก่อนขัดหรือ PSV (BEF) และทดลองหลังจากขัดด้วยเครื่องขัด เรียกว่า ค่า PSV หลังขัดหรือ PSV (AFT) ค่า PSV ที่นำไปใช้เปรียบเทียบคุณลักษณะของหินต่าง ๆ คือค่า PSV หลังขัดหรือ PSV (AFT) ค่า PSA (BEF) จะมากกว่าค่า PSV (AFT) เสมอไป

3. ผลการทดสอบ

3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวม

สำหรับงานวิจัยนี้ นอกจากทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมของวัสดุมวลรวมผิวทางเดิม (RAP) และวัสดุมวลรวมใหม่ (Virgin Aggregates) แล้วนั้นได้มีการทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวมเพื่อประเมินความสามารถในการต้านทานการลื่นไถลหรือความเสียดทาน จากผลการทดสอบ Los Angeles Abrasion (LA) แสดงผลดังตารางที่ 2 และผลการทดสอบ Polishing Stone Value (PSV) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ผลทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวม

คุณสมบัติ	Aggregates					มาตรฐาน
	Fine	Coarse			RAP	
	Dust	3/8"	1/2"	3/4"		
Specific Gravity	2.65	2.67	2.67	2.68	2.66	-
Absorption (%)	1.42	0.60	0.50	0.48	0.24	-
Flakiness Index (%)	-	7.2	20.0	56.3	42.4	≤ 30
Elongation Index (%)	-	40.5	20.0	29.9	9.5	
Abrasion (%)	24.4				29.6	≤ 40

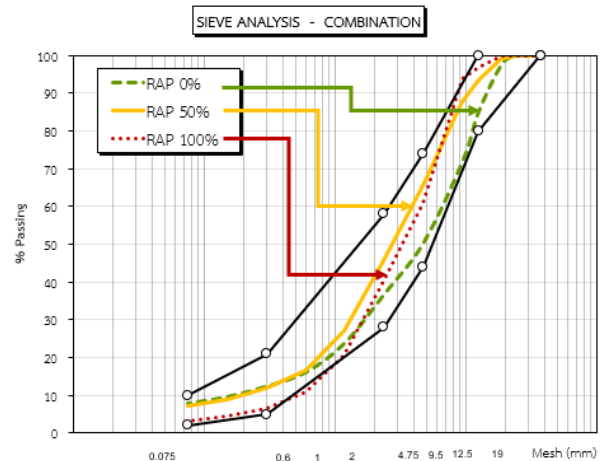
ตารางที่ 3 ผลทดสอบคุณสมบัติด้านความเสียดทานของวัสดุมวลรวม

วัสดุ รวม	PSV (Before)	PSV (After)	ΔPSV (After – Before)
Hot Bin	58.3	29.9	28.4
RAP	63.7	39.3	24.4

สำหรับวัสดุมวลรวมผิวทางเก่าให้ค่าการสึกหรอร้อยละ 29.6 ซึ่งมากกว่าวัสดุมวลรวมใหม่ และการทดสอบ Polishing Stone Value โดยอัตราการลดลง (ก่อนการขัด - หลังการขัด) ของวัสดุมวลรวมผิวทางเก่าจะมีค่าที่น้อยกว่าวัสดุมวลรวมใหม่

3.2 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

จากรูปที่ 15 เป็นกราฟแสดงขนาดผลของวัสดุมวลรวมภายหลังจากการผสมพบว่าสูตรส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 3 สูตรส่วนผสมนั้นผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด และนำไปออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลล์

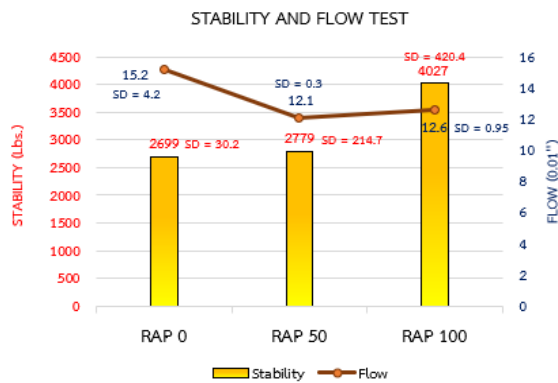


รูปที่ 15 ขนาดผลของมวลรวมภายหลังจากผสม

เมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตร และคุณสมบัติเชิงกลของมาร์แชลล์ จากผลทดสอบแสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากสามก้อนตัวอย่าง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุผิวทางเดิม (RAP) ในส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตนั้น ส่งผลให้ค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้น แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณผิวทางเดิมเป็นส่วนผสมทั้งหมดนั้นให้ค่าสูงสุดอยู่ที่ 4,027 Lbs. และแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณผิวทางเดิมร้อยละ 50 ให้ค่าการไหลต่ำสุดอยู่ที่ 12.1 (0.01 in) ดังแสดงในรูปที่ 15 แต่สูตรส่วนผสมทั้ง 3 ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดของมาตรฐานกรมทางหลวง พร้อมนำไปขึ้นแผ่นตัวอย่างสำหรับจำลองสภาพการใช้งาน และทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลโดยจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4 ผลทดสอบการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต

MIX PROPORTION	RAP	0	50	100	ทล.ม. 408	ทล.-ม. 410
	HB 1	50	35	0		
	HB 2	20	5	0		
	HB 3	15	5	0		
	HB 4	15	5	0		
Asphalt Cement (%)		5.00	4.80	5.40	-	-
Density (gm./ml)		2.400	2.360	2.390	-	-
Air Void (%)		3.3	5.0	3.1	3 - 5	3 - 6
VMA (%)		14.0	15.1	14.5	14	14
VFB (%)		76.4	65.8	78.3	-	-
Stability (lbs)		2,699	2,779	4,027	1,800	1,500
Flow (0.01")		15.2	12.1	12.6	8 - 16	8 - 16

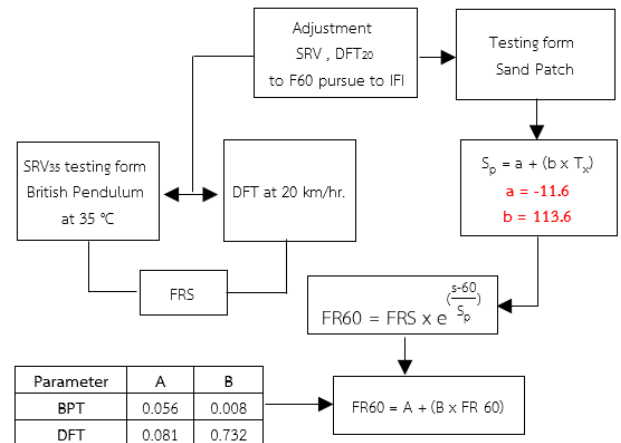


รูปที่ 16 ผลการทดสอบเสถียรภาพ และการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต

3.3 ผลการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

3.3.1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถล

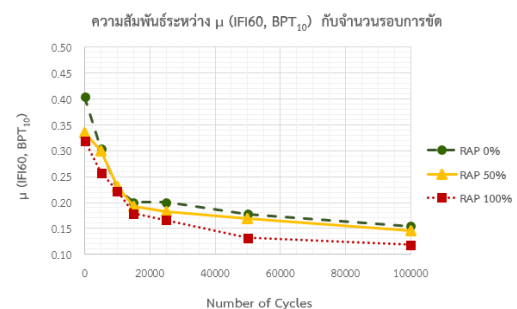
จากผลการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลด้วยเครื่องมือ BPT และ DFT ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 3 สูตรส่วนผสม ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับแก้ให้เป็นดัชนีค่าความเสียดทานสากล (International Friction Index: IFI) ซึ่งเป็นวิธีการวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลของเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานแบบต่าง ๆ และนำมาปรับแก้ความเร็วในการลื่นไถลที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกันระหว่างเครื่องมือแต่ละวิธี (Wilson, 2006) โดยมีขั้นตอนดังแสดงรูปที่ 17



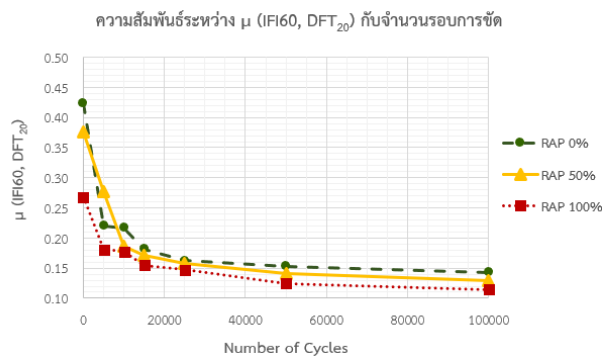
รูปที่ 17 ขั้นตอนการการคำนวณดัชนีความเสียดทานสากล (IFI) (สถาบันการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2013)

จาก รูปที่ 18 และ รูปที่ 19 เป็นกราฟระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ปรับแก้ความเร็วในการลื่นไถลที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (IFI60) กับจำนวนรอบการขัดของเครื่องมือ BPT และ DFT ตามลำดับ เมื่อมีการใช้งานเพิ่มมากขึ้น แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมใหม่เป็นส่วนผสมทั้งหมดจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (IFI60) มากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุผิวทางเดิมปริมาณร้อยละ 50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณผิวทางเดิมเป็นส่วนผสมทั้งหมดมีค่าความเสียดทานต่ำสุด

และ ตารางที่ 5 แสดงถึงค่าความหนาเฉลี่ย (MTD) ของแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 3 สูตรส่วนผสมเมื่อทดสอบด้วยวิธี Sand Patch Method (SPM) ก่อนการจำลองสภาพการใช้งาน (Initial) และภายหลังการจำลองสภาพการใช้งาน (Final) พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมใหม่เป็นส่วนผสมทั้งหมดมีค่ามากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุผิวทางเดิมปริมาณร้อยละ 50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณผิวทางเดิมเป็นส่วนผสมทั้งหมดมีค่าต่ำสุด



รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง μ (IFI60, BPT₁₀) กับจำนวนรอบการขัด



รูปที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง μ (IFI60, DFT₂₀) กับจำนวนรอบการขัด

ตารางที่ 5 ค่าความหนาเฉลี่ย (MTD) ของพื้นผิวแอสฟัลต์คอนกรีต

Type	Mean Texture Depth (MTD)	
	Initial	Final
RAP 0%	0.870	0.473
RAP 50%	0.682	0.424
RAP 100%	0.660	0.361

4. อภิปราย และวิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากตารางที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวม คุณสมบัติมาร์แชลล์ และความต้านทานการลื่นไถลของแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 3 สูตรส่วนผสม ประกอบด้วย 1) แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุผิวทางเดิมปริมาณร้อยละ 50 2) แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณผิวทางเดิมเป็นส่วนผสมทั้งหมด และ 3) แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมใหม่เป็นส่วนผสมทั้งหมด

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวม คุณสมบัติมาร์แชลล์ ความต้านทานการลื่นไถล และความหนาเฉลี่ยพื้นผิวของแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 3 สูตรส่วนผสม

Type	Aggregates properties		Marshall properties		Skid Resistance	MTD
	Abrasion	PSV	Stability	Flow		
RAP 0 %	✓	✗	✗	✓✓	✓✓	①
RAP 50%	N/A	N/A	✓	✓	✓	②
RAP 100%	✗	✓	✓✓	✗	✗	③

หมายเหตุ ✓✓ ดีที่สุด, ✓ ปานกลาง, ✗ แย่ที่สุด ① มากสุด, ② ปานกลาง, ③ ต่ำที่สุด

4.1 การทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวม

จากตารางที่ 6 แสดงว่า ผลการทดสอบวัสดุมวลรวมใหม่ให้ค่าการสึกหรอ LAA (Abrasion) ต่ำกว่าวัสดุมวลรวมจากผิวทางเก่า นั่นหมายถึงวัสดุมวลรวมใหม่นั้นมีความทนทานต่อการสึกหรอดีกว่ามวลรวมจากผิวทางเก่า และเมื่อประเมินผล

ทดสอบกับค่าความต้านทานการลื่นไถลเมื่อปรับแก้ตามวิธีการของ IFI พบว่าผิวทางที่มีมวลรวมใหม่เป็นส่วนประกอบมีความต้านทานการลื่นไถลสูงกว่าวัสดุมวลรวมผิวทางเก่า ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบ Abrasion แต่ในทางกลับกัน การทดสอบ Polishing Stone Value (PSV) ของวัสดุมวลรวมผิวทางเก่าพบว่าค่า Δ PSV ต่ำกว่าวัสดุมวลรวมใหม่ ซึ่งให้เห็นมวลรวมจากผิวทางเก่ามีความทนทานต่อการขัดสีสูงกว่ามวลรวมใหม่ แต่เมื่อประเมินผลทดสอบเทียบกับค่าความต้านทานการลื่นไถลเมื่อปรับแก้ตามวิธีการของ IFI พบว่าผลการทดสอบไม่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์กับค่า Δ PSV

4.2 ผลการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 3 ส่วนผสม

รูปที่ 18 แสดงค่าความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance Value, SRV) จากการทดสอบด้วยเครื่อง British Pendulum Tester (BPT) และ รูปที่ 19 แสดงค่าความต้านทานการลื่นไถลจากการทดสอบด้วยเครื่อง Dynamic Friction tester (DFT) เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมในการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตให้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ซึ่งผลการเปรียบเทียบตามวิธีการของ IFI (International Friction Index) ให้ค่าความเสียดทานที่มีความเหมาะสมตามลำดับดังนี้ 1) แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมใหม่เป็นส่วนผสมทั้งหมด 2) แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุผิวทางเดิมปริมาณร้อยละ 50 และ 3) แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณผิวทางเดิมเป็นส่วนผสมทั้งหมด ดังที่สรุปไว้ในตารางที่ 6

จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมมวลรวมผิวทางเก่าในแอสฟัลต์คอนกรีตมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลลดลง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะพื้นผิวแอสฟัลต์คอนกรีตที่แสดงด้วยผลการทดสอบค่าความขรุขระ MTD (ตารางที่ 5)

ในทางกลับกันเมื่อเพิ่มปริมาณผิวทางเก่าจะส่งผลให้ในด้านประสิทธิภาพการใช้งาน (Performance) ดีขึ้น แต่มีลักษณะแข็งเปราะและขาดความยืดหยุ่น ดังแสดงด้วยค่า Stability และ Flow (รูปที่ 16) เนื่องจากวัสดุเชื่อมประสานในผิวทางเก่าผ่านการใช้งานมาเป็นระยะเวลาหนึ่ง วัสดุเชื่อมประสานอาจเสื่อมสภาพส่งผลให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความแข็ง และเกิดการแตกร้าวได้ง่าย

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมความต้านทานการลื่นไถลของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของผิวทางเก่าในอัตราส่วนที่ต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้

ถนน จากการออกแบบส่วนผสมตามมาตรฐานมาร์แชลและการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลตามมาตรฐาน IFI พบว่า

- ค่าความต้านทานการลื่นไถลคำนวณตามมาตรฐาน IFI ของแอสฟัลต์คอนกรีตจะลดลงเมื่อปริมาณผิวทางเก่าในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า MTD ของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต ในทางกลับกันเมื่อเพิ่มปริมาณผิวทางเก่าในส่วนผสม ส่งผลให้ความแข็งแรงของส่วนผสมเพิ่มมากขึ้นแต่วัสดุขาดความยืดหยุ่น มีความเปราะ

- ผลการศึกษาพบว่าค่าความผิดของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของผิวทางเดิมนั้น ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานการสึกหรอ (LAA) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า Polishing Stone Value (Δ PSV) เพราะพบว่า ค่าความต้านทานการสึกหรอที่มีค่าต่ำ ส่งผลให้ค่าความผิดตามมาตรฐาน IFI สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบทั้ง 3 ส่วนผสม

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 สำหรับการศึกษาในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุผิวทางเก่า (RAP) เป็นจำนวน 1 แหล่ง เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่แม่นยำมากยิ่งขึ้นควรมีการเพิ่มจำนวนแหล่งวัสดุผิวทางเก่า

6.2 เนื่องจากประสิทธิภาพการใช้งานของการนำวัสดุผิวทางเก่ามาใช้ใช้นั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงนอกจากคุณสมบัติของวัสดุรวมในผิวทางเก่าแล้วนั้น จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Binder) ในผิวทางเก่า ดังนั้นควรมีการทดสอบคุณสมบัติแอสฟัลต์ซีเมนต์ในผิวทางเก่าเพิ่มเติม

6.3 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุรวมเพื่อประเมินความสามารถในการต้านทานการลื่นไถลหรือความเสียดทานได้แก่ Polishing Stone Value (PSV) ได้ดำเนินการทดสอบเพียง 1 ตัวอย่าง ควรมีการทดสอบตัวอย่างเพิ่ม

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ส่วนหนึ่งได้รับเงินทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับนายณัฐวิทย์ เศรษฐยุทธพงษ์ (ทุนสนับสนุนการศึกษาสำหรับนิสิตระดับปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2562) นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ รศ.ดร. พิรพงศ์ จิตเสงี่ยม จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ บริษัท อินฟรา พลัส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือทดสอบ Dynamic Friction tester (DFT) และเครื่องจำลองการขัดสี นอกจากนี้ ยังขอขอบพระคุณ นายบำรุง บัวชื่น ที่ถ่ายทอดประสบการณ์ สอนวิธีการทำงานรวมถึงช่วยดูแลความปลอดภัยตลอดการทำงาน

8. เอกสารอ้างอิง

- American Society for Testing and Materials. (2011). *ASTM E274/E274M-11 Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire*. West Conshohocken, PA.
- Austroroads. (2011). *Guidance for the Development of Policy to Manage Skid Resistance*. Austroroads Research Report, AP-374/11.
- Chulalongkorn University Transportation Institute. (2013). *Project for design and development of a method for estimating skid resistance of asphalt concrete with characteristics of aggregates*. Chulalongkorn University.
- Chulalongkorn University Transportation Institute. (2015). *Project for design and study of skid resistance by pavement age*. Chulalongkorn University.
- Hu, X., Nie, Y., Feng, Y., & Zhanq, Q. (2012). Pavement Performance of Asphalt Surface Course Containing Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). *Journal of Testing and Evaluation*, 1-7.
- Izaks, R., Haritonovs, V., Klasa, I., & Zaumanis, M. (2015). Hot Mix Asphalt With High RAP Content. *Procedia Engineering* 114, 676-684.
- Vollor, T. W. (2006). *Development of Laboratory Procedure for Measuring Friction of HMA Mixture-Phase I*. National Center for Asphalt Technology (NCAT).