

คุณสมบัติของวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ในการออกแบบพาราสเลอริซีล PROPERTIES OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT FOR DESIGN OF PARA SLURRY SEAL

ชลัท ทิพากรเกียรติ¹

¹อาจารย์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2/4 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อयाง
อ.เมือง จ.สงขลา 90000, ninechat14@hotmail.com

Chalat Tipakornkiat

¹Lecturer, Rajamangala University of Technology Srivijaya Songkhla Campus
2/4 Ratchadamnoennok Rd., Boyang Sub-district, Muang District, Songkhla 90000,
Thailand, ninechat14@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุฉาบผิวทางจากวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Reclaimed Asphalt Pavement: RAP) พบว่า RAP มีขนาดละเอียดประเภท Dense Graded มีขนาดใหญ่กว่าหินฝุ่นหลายเท่า ทำให้เมื่อเพิ่มขนาดของ RAP มากขึ้นเกินกว่าร้อยละ 40 ส่งผลให้ค่าขนาดละเอียดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จากนั้นออกแบบสัดส่วนของ RAP และหินฝุ่น คือ 0:100, 10:90, 20:80, 30:70 และ 40:60 สำหรับทำ Para Slurry Seal ชนิดที่ 3 พบว่า มีค่า Mix Time ระหว่าง 144-158 s ค่า Set Time ระหว่าง 6-15 s ค่า Cure Time ระหว่าง 47-93 s ค่า Track Abrasion ระหว่าง 126.67-174.37 gm/m² ค่า Field Stability ระหว่าง 982.17-1,512.09 kg และ ค่า Skid Resistance ระหว่าง 67.9-72.2 จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปว่า เราสามารถใช้ RAP เป็นส่วนผสมในการทำ Slurry Seal ได้โดยสามารถใส่ในปริมาณมากที่สุด คือ ไม่เกินร้อยละ 20 ถึงแม้ว่าคุณสมบัติโดยรวมจะไม่ได้ดีเยี่ยมมากเนื่องจากการใช้วัสดุเก่า แต่ก็ผ่านมาตรฐานการใช้งานสามารถนำไปใช้ในงานฉาบผิวถนนได้ และเป็นการนำวัสดุมาหมุนเวียนใช้ใหม่ได้อีกด้วย

คำสำคัญ: พาราสเลอริซีล, วัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่, ความเสียดทาน

ABSTRACT

Objective of this research is development of slurry seal with Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). There found out that, RAP is dense graded, and its size is larger than crushed dust many times. So, when the proportion of RAP is higher than 40 percent then aggregate size

is not pass standard. Proportion and RAP and crushed dust is designed to 4 groups such as 0:100, 10:90, 20:80, 30:70 and 40:60 for Para Slurry Type 3. We found out that Mix Time are 144-158 s, Set Time are 6-15 s, Cure Time are 47-93 s, Track Abrasion are 126.67-174.37 gm/m², Field Stability are 982.17-1,512.09 kg and Skid Resistance are 67.0-72.2. We can conclude that RAP is the possible material to mix with crushed dust for Slurry Seal. The maximum of RAP is 20 percent of aggregate. Engineering properties are not excellent because of we use recycled material but they pass standard of Slurry Seal, and it is full recycled material.

KEYWORDS: Para Slurry Seal, Reclaimed Asphalt Pavement, Friction

1. บทนำ

ประเทศไทยดำเนินการตามปฏิญญาขององค์การสหประชาชาติ โดยประกาศให้ปี พ.ศ. 2554-2563 เป็นทศวรรษแห่งการปฏิบัติการเพื่อความปลอดภัยทางถนน (Decade of Action for Road Safety) โดยมีเป้าหมายเพื่อลดอัตราการเสียชีวิตให้ต่ำกว่า 10 คน ต่อประชากรหนึ่งแสนคน [1] และยังพบว่า การบาดเจ็บทางถนนยังคงเป็นสาเหตุการตายอันดับ 1 ของประชากรในช่วงอายุ 15-29 ปี ของโลกและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้ผลการรายงานขององค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2558 ยังพบว่า อัตราผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนในประเทศไทย มีจำนวนสูงถึง 36.2 คนต่อประชากร 1 แสนคน หรือคิดเป็นอันดับสองของโลก [2] อุบัติเหตุจราจรเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้งานพาหนะและผู้ใช้งานประเภทอื่นบนถนนซึ่งอาจจะมีการสูญเสียชีวิตหรือมีการบาดเจ็บและการเสียชีวิตเกิดขึ้น อุบัติเหตุเกิด 3 ปัจจัย ได้แก่ ความผิดพลาดของคน (เกี่ยวข้องกับประมาณร้อยละ 95 ของการชน) ความบกพร่องของถนนและสภาพแวดล้อม (เกี่ยวข้องกับประมาณร้อยละ 28 ของการชน) และความบกพร่องของยานพาหนะ (เกี่ยวข้องกับประมาณร้อยละ 8 ของการชน) ทั้ง 3 ปัจจัยมักจะรวมกันเป็นเหตุการณ์ลูกโซ่ (Chain of Events) นำไปสู่อุบัติเหตุตัวอย่าง เช่น คนขับซึ่ล้า ผนตก และสภาพข้างทางที่อันตรายสาเหตุเหล่านี้รวมกันจะนำไปสู่อุบัติเหตุได้ [3] ซึ่งการแก้ไขปัญหาอุบัติเหตุที่สามารถดำเนินการได้เร็วที่สุด คือ การแก้ไขข้อบกพร่องของวัตถุ อันได้แก่ ถนนและสภาพแวดล้อม และยานพาหนะ ส่วนปัจจัยที่แก้ไขได้ยากที่สุด คือ คน [4] ดังนั้นผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญการแก้ไขปัญหาอุบัติเหตุ ด้านการแก้ไขข้อบกพร่องของถนน ซึ่งสามารถแก้ไขได้ค่อนข้างดีกว่าการแก้ไขปัญหาเรื่องคน โดยให้ความสำคัญการแก้ไขปัญหาด้านถนนมีความเสียดทาน (Friction) ไม่เพียงพอ อันส่งผลให้ยานพาหนะไม่สามารถควบคุมทิศทางนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุได้

การเพิ่มแรงเสียดทานของผิวทางสามารถทำได้โดยการฉาบผิวทางเพื่อลดช่องว่างระหว่างผิวทางและยางรถ เพราะขณะที่ยานพาหนะแล่นผ่านไปปริมาณช่องว่างนี้ถ้ามีมากเกินไปทำให้ผิวทางมีพื้นที่สัมผัสกับยางรถน้อย แต่ถ้ามีน้อยเกินไปจะทำให้หน้าที่ยึดเป็นฟิล์มอยู่ระหว่างผิวทางและยางรถหนีออกไม่ทัน โดยเฉพาะถ้ารถใช้ความเร็วสูงมากอาจเกิดอุบัติเหตุเหมือนเล่นสกีน้ำ (Skiing) อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุได้

การดูแลบำรุงรักษาผิวทางให้ความผิวดสูง เป็นเรื่องที่สำคัญเพราะว่าความผิวดของผิวทางจะช่วยให้ผู้ใช้ทางหยุดรถได้ทัน โดยเฉพาะในโค้งทางราบ ทางลาดเขา และทางเข้าสู่ทางแยกผิวทางเมื่อถูกใช้งานเป็นระยะเวลาแล้วผิวทางจะถูกขัดสีจนความผิวดลดลง เป็นอีกสาเหตุที่ผู้ขับขี่ไม่สามารถหยุดยานพาหนะได้ทันทั่วทั้งที่ จากการศึกษาข้อมูลอุบัติเหตุ พบว่า สาเหตุการเสียชีวิตบนโค้งราบที่เกี่ยวข้องกับความผิวดของผิวทางที่ต่ำ ประมาณร้อยละ 25 การแก้ปัญหาความผิวดของผิวทางที่ลดลง ทำได้โดยการเพิ่มความผิวดของผิวทางให้สูงขึ้น (High Friction Surface Treatment) ด้วยการใช้วัสดุที่เป็นหินแข็ง มีค่าการต้านทานการสึกหรอสูง

สำหรับการฉาบผิวถนนในปัจจุบันมีการนำยางพารามาเป็นส่วนหนึ่งของการฉาบผิวถนน เรียกว่า Para Slurry Seal โดยมีอัตราส่วนของน้ำยางพาราที่ใช้ 3.5% ของพาราแอสฟัลต์อิมัลชัน ซึ่งเป็นการช่วยเกษตรกรชาวสวนยางพาราได้ ยิ่งกว่านี้ในปัจจุบันทั่วโลกให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมซึ่งมีการสนับสนุนนโยบาย 3R คือ Reduce, Reuse และ Recycle ซึ่งสำหรับวัสดุเกือบทุกประเภทในงานก่อสร้างถนนก็เช่นเดียวกันมีการนำวัสดุผิวทางกลับมาใช้ใหม่ (Reclaimed Asphalt Pavement: RAP) ที่เรียกว่า Recycling Pavement โดยกรมทางหลวง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของวัสดุผิวทางเดิม (RAP) ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ วัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่จะถูกนำมาใช้โดยผสมเพื่อทำผิวทางใหม่ แต่ในปัจจุบันยังไม่มีมีการนำวัสดุดังกล่าวมาใช้ร่วมกับการทำ Slurry Seal

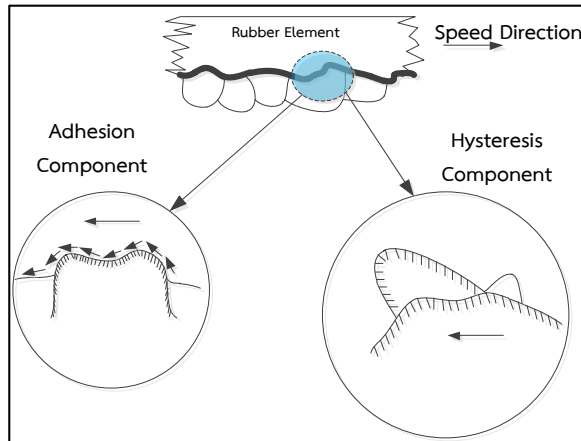
จากศักยภาพของวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Reclaimed Asphalt Pavement: RAP) ความสำคัญของยางพาราในส่วนผสมของวัสดุผิวทาง และวิธีการแก้ปัญหาการลื่นไถลของผิวทางด้วยการทำ Para Slurry Seal ที่มีต้นทุนต่ำ ผู้วิจัยจึงศึกษาคุณสมบัติวัสดุจาก RAP เพื่อนำมาพัฒนาเป็นสเลอรี่ซีล

2. ทบทวนวรรณกรรม

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความเสียดทาน พาราสเลอรี่ซีล (Para Slurry Seal) และงานวิจัยเกี่ยวข้อง

2.1 ความเสียดทาน

Boontharaksa and Payongsri [5] กล่าวว่า ความเสียดทานของผิวทาง คือ แรงที่ต้านการเคลื่อนไหวยาวของรถยนต์กับผิวทาง แรงต้านนี้จะเกิดขึ้นเมื่อยางรถยนต์ไถลไปตามพื้นผิวของถนน แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นประกอบด้วยสององค์ประกอบ คือ แรงที่เกิดจากการยึดติด (Adhesion) และแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Hysteresis) แรงที่เกิดจากการยึดติด (Adhesion) เป็นผลมาจากเกิดพันธะระหว่างผิวทางและยางรถบริเวณที่มีการกดทับ เนื่องจากผิวถนนที่ไม่เรียบ ทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของล้อรถ แรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Hysteresis) เป็นผลมาจากการสูญเสียพลังงานของยางรถเมื่อยางรถเสียรูปขณะขับผ่านผิวทางที่หยาบ เนื่องจากเกิดแรงเสียดทานสู่ยางรถ ทั้งสององค์ประกอบของแรงเสียดทานเกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อ (Texture) ของผิวทาง



รูปที่ 1 แผนผังกลไกการยึดเกาะ (Adhesion) และการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Hysteresis) ของแรงเสียดทานระหว่างผิวทางและยางรถ

ความเสียดทานของถนนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักที่สำคัญ 4 ปัจจัย ดังนี้

1) คุณลักษณะของพื้นผิวทาง (Pavement Characteristics) ได้แก่ ความหยาบละเอียด (Texture) ความขรุขระ (Roughness) ร่องล้อ (Rutting) โดย ถนนที่มีความหยาบสูง จะทำให้ผิวทางมีความเสียดทานมากขึ้น ส่วนถนนที่มีผิวทางละเอียด ความเสียดทานจะต่ำ

2) คุณลักษณะของล้อยาง (Tire Characteristics) เนื้อยางแข็งจะมีความทนทานต่อการสึกหรอมากกว่าล้อยางที่ถูกออกแบบให้มีเนื้อยางอ่อน ในขณะที่เดียวกันเนื้อยางที่อ่อนจะช่วยให้ล้อรถมีความเสียดทานได้ ดีกว่าล้อยางที่มีเนื้อยางแข็ง แต่หากในสภาพผิวถนนที่เปียกและใช้ความเร็วสูง เนื้อยางแข็งจะมีความเสียดทานที่ดีกว่า

3) คุณลักษณะของการใช้รถ (Vehicle Operational Characteristics) ได้แก่ ความเร็ว (Speed) อาการลื่น (Tire Slip) น้ำหนักรถ (Axle Load) และชนิดของรถ (Type of Vehicle) ความเร็วที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการรีดน้ำบนถนนเปียกลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเบรคลดลงเช่นกัน สำหรับอาการลื่นเกิดจากภาวะอุปกรณ์ห้ามล้อได้ลื่นคล้อยรถให้หยุดนิ่งแล้วลื่นไถลไปบนพื้นถนน โดยปัญหาการลื่นถูกแก้ไขได้โดยระบบ ABS (Anti - Lock Brake System) ซึ่งเป็นระบบที่ถูกออกแบบเพื่อช่วยสร้างสมดุลความเร็วของล้อและรถในขณะที่เบรค ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการลื่นไถล ประเด็นสุดท้าย คือ น้ำหนักรถและชนิดของรถนั้น พบว่า รถที่มีน้ำหนักบรรทุกมากเป็นรถบรรทุกจะมีประสิทธิภาพด้านความเสียดทานระหว่างล้อรถและผิวทางต่ำกว่ายานพาหนะที่มีน้ำหนักน้อยกว่าเป็นรถยนต์ เนื่องจากผลของแรงเฉื่อย

4) สภาพแวดล้อมอื่น ๆ (Environmental Factors) ได้แก่ สภาพเปียก (Wetness) สิ่งเปื้อน (Contamination) อุณหภูมิ (Temperature) ฤดูกาล (Seasonal variation) ถนนที่มีสภาพเปียกหรือมีสิ่งเปื้อน เช่น โคลนน้ำมันบนผิวถนนจะลดประสิทธิภาพความเสียดทาน อุณหภูมิของถนนที่สูงขึ้นจะทำให้ลื่นอย่างสูญเสียสภาพง่าย ทำให้ค่าความเสียดทานลดลงได้รวมถึงฤดูแห้งแล้งที่ยาวนานส่งผลให้เกิดฝุ่นผงขนาดเล็กปกคลุมผิวถนนทำให้เกิดความเสียดทานลดลงในขณะที่เกิดเหตุการณ์ฝนตกหนัก น้ำจะทำกรชะล้างฝุ่นตะกอนขนาดเล็กออกไปจากผิว ถนนส่งผลทำให้ความเสียดทานเพิ่มมากขึ้น

2.2 พาราสเลอรีซีล (Para Slurry Seal)

Department of Highways [6] ได้กำหนดมาตรฐานผิวทางแบบพาราสเลอรีซีล (Para Slurry Seal) ซึ่งเป็นวิธีการฉาบผิวทางชนิดหนึ่ง ซึ่งมีส่วนผสมอันประกอบด้วย Elastomeric Modified Asphalt Emulsion ซึ่งใช้ยางธรรมชาติ (Natural Latex) เป็นวัสดุผสมเพิ่มใน Asphalt Emulsion มวลรวม (Aggregate) วัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) และสารผสมเพิ่ม (Additive) ซึ่งจะเป็นการยืดอายุการใช้งานของถนนให้ยืนยาวออกไป ป้องกันการซึมผ่านของน้ำ เพิ่มความคงทนของผิวทางให้สูงขึ้น และลักษณะของผิวทางไม่ลื่น

วัสดุที่ใช้ทำผิวทางแบบพาราสเลอรีซีลประกอบไปด้วย

1) แอสฟัลต์ (Asphalt) จะต้องเป็นแบบ Polymer Modified Asphalt Emulsion ประเภท CSS-1 หรือ CSS-1h ที่ผสมกับยางธรรมชาติ ซึ่งเมื่อทดสอบคุณภาพแล้วต้องผ่านตามข้อกำหนดของ ทล.-ก-405 “Specification for Elastomeric Modified Asphalt Emulsion”

2) สารผสมเพิ่ม (Additive) เป็นสารผสมเพิ่มสำหรับใช้ทำให้แอสฟัลต์อิมัลชันแตกตัวเร็วขึ้นหรือช้าลง หรือใช้เพื่อให้แอสฟัลต์อิมัลชันเคลือบมวลรวมได้ดียิ่งขึ้น

3) น้ำ (Water) น้ำที่ใช้ต้องสะอาดปราศจากสิ่งเจือปนที่จะก่อให้เกิดผลเสียต่อพาราสเลอรีซีล

4) มวลรวม (Aggregate) ต้องเป็นหินโม่ซึ่งแข็งคงทน สะอาด

5) วัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) วัสดุผสมแทรกที่ใช้เป็นประเภทซีเมนต์ (Celite of Portland Cement) ปูนขาว ฯลฯ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของมวลรวม ต้องใช้ในปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่จะจำเป็นซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการใช้ก็เพื่อความสะดวกในการทำงาน (Workability) หรือขนาดคละ (Gradation) ในการออกแบบอัตราส่วนผสมของงานพาราเซลเลอร์ซีลยังคงใช้วิธีของ The Asphalt Institute Manual Series No-19 โดยวิธีหาค่า C.K.E. และตามมาตรฐาน ASTM D 3910 "Standard Practice for Design Testing and Construction of Slurry Seal หรืออาจจะใช้มาตรฐานและวิธีทดลองของ International Slurry Seal Association (ISSA) ก็ได้

2.3 งานวิจัยเกี่ยวข้อง

Praneetpongung [7] ศึกษาข้อมูลเปรียบเทียบการเกิดอุบัติเหตุก่อนและหลังการติดตั้ง Red Anti Skid Material ด้วยวัสดุ Cold Plastic พบว่า ทำให้ลดการเกิดอุบัติเหตุได้เล็กน้อย

Kasemsee [8] พบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตเก่าสามารถนำมาใช้ทดแทนแอสฟัลต์คอนกรีตใหม่ได้เป็นอย่างดี โดยศึกษาวิธีการนำแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าผสมกับน้ำมันดีเซลและยาง AC 60/70 โดยทำการทดสอบค่าเสถียรภาพ ค่าการไหล และค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมในแอสฟัลต์คอนกรีตเก่ากับน้ำมันดีเซลตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง พบว่า การนำวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตในผิวทางเก่าที่ผสมน้ำมันดีเซลที่ปริมาณ 1.75 L เป็นการบ่มที่ทำให้ได้ค่าเสถียรภาพสูงที่สุดเท่ากับ 387 kg และได้ค่าการไหลสูงที่สุดเท่ากับ 7 mm และสามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างถนนที่ใช้แอสฟัลต์คอนกรีตให้มีราคาถูกลงที่ความหนาของชั้นพื้นทางเท่ากัน

Charoenkij et al. [9] ได้ปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังชั้นรองพื้นทางโดยการผสมเศษผิวแอสฟัลต์ เพื่อให้เป็นชั้นรองพื้นทางมีการรับกำลังได้มากขึ้นเปรียบเทียบกับมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท โดยใช้ปริมาณอัตราส่วนเศษผิวแอสฟัลต์ที่ร้อยละ 20 30 และ 40 ของน้ำหนักดินลูกรังแห้งนำมาทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม มีค่าความชื้นตามธรรมชาติของตัวอย่างดินลูกรังอยู่ระหว่างร้อยละ 8.49-10.16 ของน้ำหนักดินจากการทดสอบเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังเพื่อนำไปใช้เป็นดินชั้นรองพื้นทาง และตัวอย่างดินสามารถให้ค่าร้อยละ C.B.R. มากที่สุดคือตัวอย่างดินลูกรังร้อยละ 100 มีค่าร้อยละ C.B.R. เท่ากับร้อยละ 5.88 และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเศษผิวแอสฟัลต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 30 และ 40 ค่าร้อยละ C.B.R. ลดลงเท่ากับร้อยละ 1.53 2.56 และ 2.62 ตามลำดับ

Farooq and Mir [10] ศึกษาการนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์เก่ามาใช้ใหม่ (Recycled Asphalt Pavement; RAP) ในการออกแบบแอสฟัลต์ผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt) ซึ่งเป็นอุณหภูมิการผสมที่ต่ำกว่าการผสมแบบปกติ โดยทดสอบ 3 ปัจจัยคือ ร้อยละของ RAP สารผสมเพิ่มเติม และอุณหภูมิผสมบดอัด พบว่า การใช้สารผสมเพิ่มเติมในกระบวนการผสมอุ่นที่อุณหภูมิ 120 °C ของแอสฟัลต์จากวัสดุมวลรวมที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ให้คุณลักษณะต่าง ๆ จากการทดสอบที่ดีเทียบเท่า

ตามเกณฑ์ข้อกำหนดของวัสดุแอสฟัลต์ผสมร้อนปกติแบบที่กำหนด โดยทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตร เสถียรภาพและการไหล การทดสอบความต้านทานแรงดึงแบบอ้อม ความต้านทานความชื้น การนำ RAP มาใช้ซ้ำนั้นเป็นวิธีการที่จะช่วยลดปริมาณวัสดุมวลรวมของแอสฟัลต์และปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ในส่วนผสมอันนำมาซึ่งการลดต้นทุนการผลิตโดยรวม จึงนำมาซึ่งการลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Lertcuntapak [11] ได้ศึกษาการพัฒนา กำลังอัดของผิวทางที่ผสม RAP และปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์เปรียบเทียบกับพัฒนา กำลังอัดของหินคลุกโดยเปรียบเทียบทั้งในด้านต้นทุนและด้านวิศวกรรมและการสร้างมูลค่าเพิ่มของ RAP ผลการวิจัยพบว่า RAP มีขนาดคละสอดคล้องตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของวัสดุผิวทางเก่ากลับมาใช้ใหม่ (RAP) มีค่าต่ำกว่าหินคลุกเพียง 0.95 เท่าสำหรับพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน และมีหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดต่ำกว่าหินคลุกเพียง 0.94 และ 0.90 เท่า สำหรับพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน เพื่อให้ได้กำลังตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง (ไม่น้อยกว่า 24.5 kg/cm²) RAP มีความต้องการปริมาณปูนซีเมนต์สูงกว่าหินคลุกร้อยละ 52.8 และ 62.2 สำหรับพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตามลำดับ การเพิ่มพลังงานการบดอัดสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ได้ถึงร้อยละ 16.7 และ 21.5 สำหรับผิวทางรีไซเคิลและหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ตามลำดับ

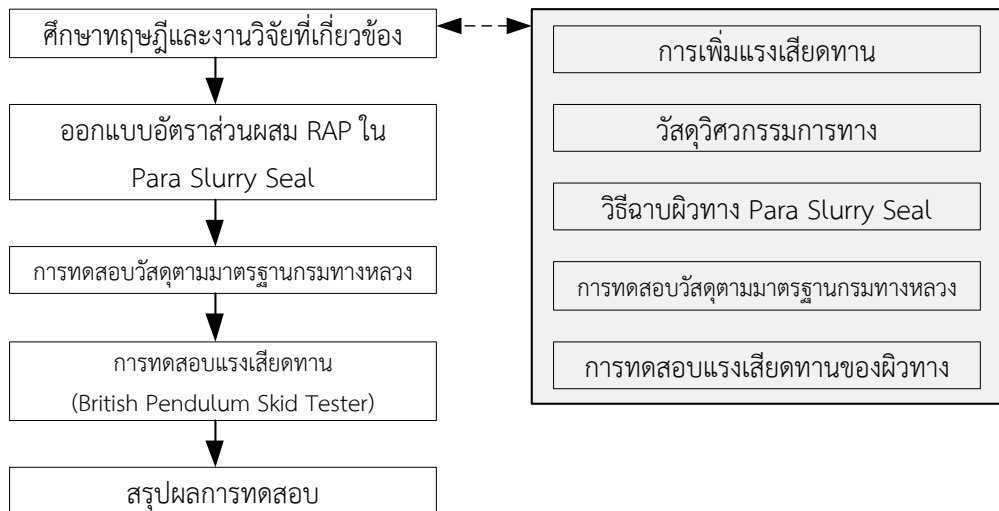
Saghafi and Tabatabaee [12] ได้ศึกษาใช้ RAP เป็นส่วนผสมสเลอรี่ซีลในประเทศอิหร่าน ซึ่งใช้อัตราส่วน RAP มากถึงร้อยละ 87.5 มีค่า Set time 105 นาที ค่า Wet Track Abrasion เฉลี่ย 315 g/m² ค่า Loaded wheel test เฉลี่ย 473 g/m² ค่า BPN เฉลี่ย 101 ลดต้นทุนค่าก่อสร้างโดยรวมร้อยละ 14 แต่มีค่า Cure Time 8 ชั่วโมง ซึ่งโดยปกติจะกำหนดค่า Cure Time ไว้ไม่เกิน 2 ชั่วโมง จึงแสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นที่จะใช้ RAP แทนที่มวลรวมในการทำสเลอรี่ซีล เนื่องจากมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่สูง แต่ทว่ามีค่า Cure Time ที่นานกว่าปกติทำให้เปิดการจราจรได้ล่าช้า

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า ในประเทศไทยมีการใช้ RAP เพื่อลดต้นทุนการก่อสร้างในภาพรวม ทดแทนวัสดุตามธรรมชาติที่มีจำนวนลดน้อยลง นำมาซึ่งการลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพบว่า RAP ถูกใช้ในการทำผิวทาง ชั้นรองพื้นทาง ซึ่งมีประเด็นที่คล้ายคลึงกันคือการนำ RAP ซึ่งเป็นวัสดุเก่ามาเป็นส่วนผสมนั้น คุณสมบัติทางวิศวกรรมย่อมไม่สูงกว่าการใช้วัสดุใหม่ แต่ยังสามารถใช้งานได้เนื่องจากผ่านค่ามาตรฐานตามที่หน่วยงานกำหนด โดยสัดส่วนที่พบคือ ไม่ควรใช้ RAP เกินร้อยละ 20 แต่ในงานวิจัยต่างประเทศนั้นสามารถใช้ RAP ได้มากถึงร้อยละ 87.5 มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมดี แต่ทว่ามีข้อเสียคือ การเปิดการจราจรที่ล่าช้ากว่าปกติ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาการนำ RAP มาเป็นส่วนผสมในสเลอรี่ซีลภายในประเทศไทย

3. วิธีการดำเนินงาน

การออกแบบอัตราส่วนของ RAP ใน Para Slurry Seal ถูกกำหนดให้เป็นสัดส่วนเปรียบเทียบกับจำนวนหินฝุ่น โดยทดสอบวัสดุตามมาตรฐานของกรมทางหลวงได้แก่ 1) Sieve Analysis of Aggregate ของ RAP 2) การทดสอบความสึกหรอของหินฝุ่น 3) การทดสอบ Sand Equivalent ของหินฝุ่น 4) การทดสอบความคงทน (Soundness) ของหินฝุ่น 5) การทดสอบค่า Mix Time at 6) การทดสอบค่า Consistency Test 7) การทดสอบค่า Set Time และ Cure Time 8) การทดสอบค่า Wet Track Abrasion 9) การทดสอบค่า Hubbard Field Stability และ 10) การทดสอบความต้านทานการลื่นไถลของผิวจราจรโดยเครื่องบริติชเพนดูลัม

วิธีการดำเนินงานในการจัดทำกรวิจัยมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2 แผนผังการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ประกอบด้วย 6 วัสดุ ได้แก่

1. วัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Reclaimed Asphalt Pavement: RAP) ได้มาจากงานจ้างเหม่าทำการแก้ไขและป้องกันน้ำกัดเซาะ ทางหลวงหมายเลข 43 ตอนควบคุม 0202 ตอนจะนะ-ป่าแต ระหว่าง กม.52+585 - กม.54+215 จังหวัดสงขลา โดยผสม RAP จากทั้งสองทิศทางๆ ละร้อยละ 50

2. หินฝุ่น (Crushed Dust) ได้มาจากโรงโม่หินผาทองทุ่งสง กม.300+300 ทล.41 ตอนทุ่งสง-ร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

4. น้ำสะอาด

5. สารผสมเพิ่ม Additives 1% สำหรับอิลาสโตเมอร์คโม่ติฟายด์แอสฟัลต์อิมัลชันเป็นสารผสมเพิ่มและปรุงแต่งในงานฉาบผิวทางสำหรับการซ่อมบำรุงถนน ของบริษัท เรย์โคลแอสฟัลท์ จำกัด
6. ยางพาราแอสฟัลต์อิมัลชัน CSS-1h (EMA)



รูปที่ 3 วัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ (RAP)



รูปที่ 4 หินฝุ่น (Crushed Dust)



รูปที่ 5 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



รูปที่ 6 น้ำสะอาด



รูปที่ 7 สารผสมเพิ่ม 1% (Additive)



รูปที่ 8 ยางพาราแอสฟัลต์อีมีลชัน CSS - 1h (EMA)

4. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดมาตรฐานการออกแบบพาราสเลอรีซีล (Para Slurry Seal) คือ ชนิดที่ 3 ตามมาตรฐานที่ ทล.-ม 415/2546 เนื่องจากเป็นชนิดที่มีผิวหน้าหยาบที่สุด ใช้สำหรับฉาบผิวทาง แล้วได้ทำการทดสอบวัสดุดังต่อไปนี้

4.1 การหาขนาดคละของวัสดุมวลรวม (Sieve Analysis of Aggregate)

ผู้วิจัยหาขนาดคละของวัสดุมวลรวมโดยแบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ตัวอย่างวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ (RAP) จำนวน 2,094.6 gm ร่อนผ่านตะแกรงแบบไม่ล้างน้ำ ดังแสดงตารางที่ 1 และตัวอย่างหินฝุ่น (Crushed Dust) จำนวน 2,577.5 gm ร่อนผ่านตะแกรงแบบล้างน้ำ พบว่า ขนาดส่วนคละของ RAP และหินฝุ่นอยู่ในช่วง Dense Graded คือ มีการกระจายของเม็ดดินเรียงขนาดแน่น

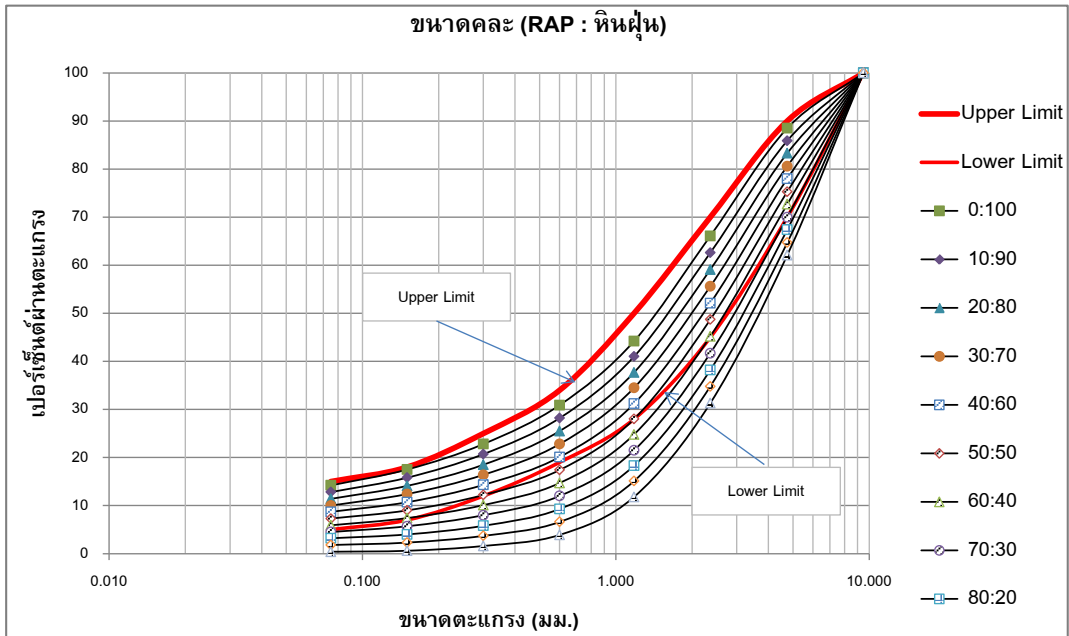
ตารางที่ 1 การทดสอบขนาดคละของวัสดุมวลรวมโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้างน้ำ

Sieve size	First Trial			Second Trial			Average % Passing
	Retained (g)	Passing (g)	Passing (%)	Retained (g)	Passing (g)	Passing (%)	
#3/8	-	1,034.0	100.0	-	1,060.6	100.0	100.0
#4	419.9	614.1	59.4	373.2	687.4	64.8	62.1
#8	324.9	289.2	28.0	320.6	366.8	34.6	31.3
#16	187.3	101.9	9.9	220.7	146.1	13.8	11.8
#30	68.9	33.0	3.2	96.3	49.8	4.7	3.9
#50	19.6	13.4	1.3	29.7	20.1	1.9	1.6
#100	8.4	5.0	0.5	12.3	7.8	0.7	0.6
#200	2.0	3.0	0.3	2.5	5.3	0.5	0.4

เมื่อมวลรวมระหว่าง RAP และหินฝุ่นถูกนำมาออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบ Para Slurry Seal ประเภทที่ 3 พบว่า อัตราส่วนที่ผ่านมาตรฐานคือ 0:100, 10:90, 20:80, 30:70 และ 40:60 ในทางตรงกันข้ามอัตราส่วนที่ไม่ผ่านมาตรฐานคือ 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0 เนื่องจาก RAP มีขนาดใหญ่กว่าหินฝุ่นหลายเท่าทำให้เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ RAP จึงทำให้ค่าของขนาดคละไม่ผ่านเกณฑ์ออกแบบของ Para Slurry Seal ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 9

ตารางที่ 2 ขนาดคละระหว่างวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ (RAP) : หินฝุ่น (Crushed Dust)

ขนาดตะแกรง		Passing		Combine											Design	
Sieve	mm	RAP	Crushed Dust	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	100:0	Upper limit	Lower limit
#3/8	9.500	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
#4	4.750	62.1	88.5	88.5	85.9	83.3	80.6	78	75.3	72.7	70	67.4	64.7	62.1	90	70
#8	2.360	31.3	66.1	66.1	62.6	59.1	55.6	52.1	48.7	45.2	41.7	38.2	34.8	31.3	70	45
#16	1.180	11.8	44.2	44.2	41	37.7	34.5	31.2	28	24.8	21.5	18.3	15.1	11.8	50	28
#30	0.600	3.9	30.9	30.9	28.2	25.5	22.8	20.1	17.4	14.7	12	9.3	6.6	3.9	34	19
#50	0.300	1.6	22.8	22.8	20.7	18.5	16.4	14.3	12.2	10.1	8	5.8	3.7	1.6	25	12
#100	0.150	0.6	17.5	17.5	15.8	14.1	12.4	10.7	9	7.4	5.7	4	2.3	0.6	18	7
#200	0.075	0.4	14.2	14.2	12.8	11.4	10	8.7	7.3	5.9	4.5	3.2	1.8	0.4	15	5



รูปที่ 9 ขนาดคละระหว่างวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ (RAP) : หินฝุ่น (Crushed Dust)

4.2 ผลการทดสอบหา Los Angeles Abrasion Test

หินฝุ่น จำนวน 5,000 gm ถูกนำมาหาค่า Los Angeles Abrasion Test ตาม ทล.-ท.202/2518 พบว่าค่าร้อยละของสึกหรอมีค่า 28.7 ซึ่งไม่มากกว่าร้อยละ 35 แสดงว่า หินฝุ่นมีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่ ทล.-ม 415/2546

4.3 การทดสอบค่า Sand Equivalent ของวัสดุผสมรวม

ผลการทดสอบหาค่า Sand Equivalent ของหินฝุ่นเพื่อหาค่าสัดส่วนระหว่างฝุ่น หรือวัสดุประเภทเหมือนดินเหนียวกับวัสดุเม็ดหยาบพวกกรวดหรือทราย พบว่าทั้งสองตัวอย่างการทดสอบให้ค่า Sand Equivalent ร้อยละ 70.1 ซึ่งมีค่าผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่ ทล.-ม 415/2546 ที่ระบุค่าร้อยละ 60

4.4 ผลการทดสอบหาค่า Soundness

ผู้วิจัยทำการทดสอบ Soundness เพื่อหาค่าความคงทนของมวลรวมที่ถูกกระทำโดยสภาพดินฟ้าอากาศ ด้วยใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟต จากการทดสอบพบว่ามีส่วนที่ไม่ทน (Loss) ร้อยละ 2.9 ซึ่งผ่านเกณฑ์

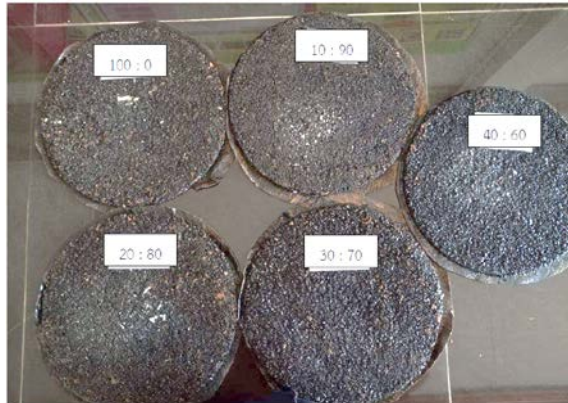
4.5 การออกแบบส่วนผสม

ผู้วิจัยได้ทดลองออกแบบส่วนผสมระหว่าง 1) หินฝุ่น 2) วัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ 3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 4) น้ำสะอาด 5) สารผสมเพิ่ม (Additive) ที่ทำหน้าที่หน่วงการแตกตัว และ 6) พาราแอสฟัลต์อิมัลชัน เพื่อออกแบบส่วนผสม Para-milling Slurry Seal โดยผู้วิจัยทำการ Trial and Error หินฝุ่น ปูน น้ำสะอาด Additive พาราแอสฟัลต์อิมัลชัน แล้วคนให้เข้ากันดูเวลาการแตกตัวไม่น้อยกว่า 120 s โดยวัสดุทั้ง 6 ชนิด มีความสัมพันธ์กับเวลาผสมคือ Mix Time มีความแปรผันตรงกับวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ น้ำสะอาด สารผสมเพิ่ม (Additive) และพาราแอสฟัลต์อิมัลชัน ในขณะที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีความแปรผกผันกับ Mix time ดังแสดงในตารางที่ 1

หลังจากนั้นได้ทำการทดสอบส่วนผสมที่เหมาะสมที่ได้แสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 10 แล้วนั้น โดยการทดสอบได้แก่ การหาค่า Consistency Test, Set Time และ Cure Time การหาค่า Wet Track Abrasion Test การหาค่า Hubbard field Test และการหาความต้านทานการสึกกร่อนของผิวจราจรโดยเครื่องบริติชเพนดูลัม ดังแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ออกแบบส่วนผสม Para Slurry Seal ระหว่าง RAP : หินฝุ่น

วัสดุ	อัตราส่วน RAP : หินฝุ่น									
	0:100		10:90		20:80		30:70		40:60	
	ร้อยละ	น้ำหนัก (g.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (g.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (g.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (g.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (g.)
หินฝุ่น	100	400	90	360	80	320	70	280	60	240
RAP	-	-	10	40	20	80	30	120	40	160
ปูน	0.25	1	0.25	1	0.25	1	0.25	1	0.25	1
น้ำ	8	32	8	32	7	28	6	24	8	32
Additive	2	8	2	8	2	8	1.5	6	2	8
Para -Asphalt Emulsion	11	44	11	44	11	44	11	44	11	44
Mix Time (S)	138		154		146		158		144	



รูปที่ 10 ชิ้นงาน Para Slurry Seal ที่มีส่วนประกอบของวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ (RAP)

ตารางที่ 4 สรุปผลการทดลองส่วนผสมสำหรับการพัฒนา Slurry Seal

อัตราส่วน RAP: หินฝุ่น	การทดสอบ						
	Mix Time (s)	Consistency Flow (mm)	Set Time (min)	Cure Time (min)	Wet Track Abrasion (gm/m ²)	Field Stability (kg)	Skid Resistance
0:100	138	12.50	9	47	174.37	1,512.09	72.2
10:90	154	13.25	6	73	165.05	1,341.15	67.9
20:80	146	13.50	8	79	156.28	1,241.43	68.5
30:70	158	15.75	5	91	136.54	1,195.85	69.5
40:60	144	12.25	15	93	126.67	982.17	67.9

4.6 ผลการหาค่า Consistency Test, Set Time และ Cure Time

พบว่าอัตราส่วนวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่กับหินฝุ่นทุกอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ นั้น มีค่า Flow อยู่ระหว่าง 12.25-15.75 mm ค่า Set Time มีค่าอยู่ระหว่าง 5-15 min ค่า Cure Time อยู่ระหว่าง 47-93 min ซึ่งทั้งสามค่าที่ได้จากการทดสอบล้วนผ่านมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ม 415/2546 ซึ่งหมายความว่า วัสดุสามารถนำไปใช้งานในภาคสนามได้จริง เนื่องจากมีค่า Consistency Flow ดี มีค่า Set Time ดีและสามารถเปิดการจราจรได้เร็ว เนื่องจากมีค่า Cure Time ดี เช่นเดียวกัน (อัตราส่วนละ 2 ตัวอย่าง)

4.7 ผลการหาค่า Wet Track Abrasion Test

พบว่าค่า Wet Track อยู่ระหว่าง 126.67-174.37 gm/m² ซึ่งหมายความว่า วัสดุฉาบผิวทาง อัตราส่วนผสมระหว่างหินฝุ่นกับวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ มีค่าการสึกกร่อนน้อย เมื่อเทียบกับมาตรฐานที่กำหนด ให้มีค่าการสึกกร่อนสูงถึง 500 gm/m² (อัตราส่วนละ 2 ตัวอย่าง)

4.8 ผลการทดลองหาค่า Hubbard field Test

พบว่าอัตราส่วนผสมระหว่างหินฝุ่นกับวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ที่ให้ค่า Hubbard Stability สูงสุดคือ 0:100 ตามมาด้วย 10:90 และ 20:80 โดยมีอัตราส่วนผสมระหว่างหินฝุ่นกับวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ที่ไม่ผ่านมาตรฐานคือ 30:70 และ 40:60 ซึ่งที่ใช้งานได้คือ 10:90 และ 20:80 หมายความว่าสัดส่วนของหินฝุ่นกับวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ที่จะนำไปใช้แล้วมีค่า Hubbard Stability ผ่านมาตรฐานคือ การใช้อัตราส่วนร้อยละ 20 (อัตราส่วนละ 3 ตัวอย่าง)

4.9 ผลการทดสอบความต้านทานการลื่นไถลของผิวจราจรโดยเครื่องบริติชเพนดูลัม

พบว่าเราสามารถชักากแอสฟัลต์ได้สูงสุดถึงร้อยละ 10 เท่านั้นที่จะให้ค่าการต้านทานความลื่นไถลสูงสุดเฉลี่ยถึง 67.9 ในขณะที่ทำการเพิ่มแอสฟัลต์มากขึ้นจะทำให้ค่าการต้านทานการลื่นไถลลดลงเนื่องจากกากแอสฟัลต์มียางเดิมเคลือบอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่า Skid Resistance จากการทดสอบหาค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวจราจรโดยเครื่องบริติชเพนดูลัม จะเห็นว่าค่า Skid Resistance ของ Para-Milling Slurry Seal ยังคงผ่านเกณฑ์มาตรฐานของทั้งสองประเทศคือประเทศออสเตรเลียและประเทศสวีเดนแลนด์ ซึ่งมีค่า Skid Resistance มากกว่า 45 และ 65 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า สามารถนำวัสดุดังกล่าวมาฉาบผิวถนน เพื่อเพิ่มความฝืดของผิวทางได้ (อัตราส่วนละ 3 ตัวอย่าง)

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ศึกษาคุณสมบัติวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Reclaimed Asphalt Pavement: RAP) หรือกากแอสฟัลต์ (Milling) เพื่อนำมาพัฒนาเป็น Slurry Seal พบว่า RAP มีการกระจายตัวของเม็ดดินเรียงขนาดแน่น มีคุณสมบัติเหมาะสมนำไปเป็นส่วนผสมใน Slurry Seal ประเภทที่ 3 แต่เนื่องจากขนาดของ RAP มีขนาดใหญ่กว่าหินฝุ่นหลายเท่า ทำให้เมื่อเพิ่มจำนวน RAP เกินกว่าร้อยละ 40 ส่งผลให้ค่าขนาดคละไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

การทดสอบค่า Mix Time พบว่า กลุ่มอัตราส่วนที่ไม่ผสม RAP จะมีค่า Mix Time น้อยที่สุด แต่เมื่อเพิ่ม RAP เข้าไปในส่วนผสมมวลรวมคละ จะทำให้ Mix Time เพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 144-158 s

จากการทดสอบหาค่า Cure Time พบว่ากลุ่มอัตราส่วนที่ไม่ผสม RAP จะมีค่า Cure Time น้อยที่สุด ในขณะที่กลุ่มอัตราส่วนที่มี RAP มากที่สุด จะมีค่า Cure Time มากที่สุด แต่ก็ผ่านเกณฑ์กำหนดที่ 2 hr สำหรับค่า Consistency Flow มีค่าอยู่ระหว่าง 10-20 mm ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

การทดสอบหาค่า Wet Track พบว่า กลุ่มอัตราส่วนที่ไม่ผสม RAP มีค่า Wet Track Abrasion มากที่สุดในขณะที่กลุ่มอัตราส่วนผสม RAP มากที่สุดมีค่า Wet Track น้อยที่สุด ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนดว่าต้องมีค่าไม่มากกว่า 500 gm/m^2

การทดสอบหาค่า Hubbard Field Test พบว่า กลุ่มอัตราส่วนที่ไม่ผสม RAP มีค่า Hubbard Field Stability สูงที่สุด ในขณะที่กลุ่มอัตราส่วนที่ผสม RAP 40 % มีค่า Hubbard Field Stability น้อยที่สุด ซึ่งกลุ่มอัตราส่วนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน Hubbard Field Test จึงเหลือเพียง 3 กลุ่ม คือ 0:100, 10:90 และ 20:80 ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานกำหนดค่าว่าไม่เกิน 1,200 kg

การทดสอบค่า Skid Resistance พบว่า กลุ่มอัตราส่วนที่ไม่ผสม RAP มีค่า Skid สูงที่สุด ส่วนกลุ่มอัตราส่วนที่ผสม RAP มากที่สุดมีค่า Skid ต่ำที่สุด

จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปว่า RAP เป็นส่วนผสมในการทำ Slurry Seal ได้โดยสามารถใส่ในปริมาณมากที่สุด คือ ไม่เกินร้อยละ 20 ถึงแม้ว่าคุณสมบัติโดยรวมจะไม่ได้ดีเยี่ยมมาก แต่ก็ผ่านมาตรฐานสามารถนำไปใช้งานฉาบผิวถนนเพื่อเพิ่มความเสียดทานของผิวทางซึ่งจะช่วยลดปัญหาการลื่นไถลและเพิ่มความปลอดภัยทางถนนได้ และเป็นการนำวัสดุมาหมุนเวียนใช้ใหม่ได้อีกด้วย

ผู้วิจัยเสนอแนะว่า ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมการวิเคราะห์หาความเสียดทานโดยใช้เทคโนโลยีเลเซอร์ความเร็วสูง เพื่อวิเคราะห์ในภาพรวมของถนนเพิ่มเติม รวมถึงการวิเคราะห์การออกแบบส่วนผสมเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ให้ทุนวิจัยสิ่งประดิษฐ์ ปีงบประมาณ 2561 และขอขอบคุณนักศึกษาช่วยวิจัย นางสาวกมลวรรณ แก้วมณี นายวิรุพา ทองงาม และ นางสาวอัญชลี ชีวะพันธ์

References

- [1] Road safety center, Department of Disaster Prevention and Mitigation. Decade of action for road safety. [Internet]. 2010 [cited 2018 April 20]. Available from: http://www.cabinet.soc.go.th/doc_image/2553/22420820.pdf (In Thai)

- [2] BLT Bangkok. Thailand continues reign as world's top country with highest road accident [Internet]. 2017 [cited 2018 April 20]. Available from: <http://www.bltbangkok.com/CoverStory/ไทยครองแชมป์เสียชีวิตบนถนนมากที่สุดในโลก> (In Thai)
- [3] Pongtipakorn W, Pongkumsing N, Mulma P. Road safety audit [project]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2011. (In Thai)
- [4] Tipakornkiat C. Highway engineering handout. Songkhla: Rajamangala University of Technology Srivijaya; 2017. (In Thai)
- [5] Boontharaksa P, Payongsri C. Skid resistance test of pavement with portable skid resistance tester. Bangkok: Department of Highways; 2012. (In Thai)
- [6] Department of Highways. Para slurry seal. Bangkok: Department of Highways; 2003. (In Thai)
- [7] Praneetpongprung C. Efficiency of a skid resistant material on an accidental rate reduction: a cold plastic case at kanchanapisek interchange km 0+000 [thesis]. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology; 2013. (In Thai)
- [8] Kasemsee T. Properties study of reclaimed asphalt pavement and diesel. Tak: Office of Highways 4; 2016. (In Thai)
- [9] Charoenkij Y, Niyomdech A, Wajittrakul H. Subbase improvement by reclaimed asphalt pavement [project]. Songkhla: Rajamangala University of Technology Srivijaya; 2012. (In Thai)
- [10] Farooq MA, Mir MS. Use of reclaimed asphalt pavement (RAP) in warm mix asphalt (WMA) pavements: a Review. Innovative Infrastructure Solutions 2017;2:1-9.
- [11] Lertcuntapak S. Compressive strength of reclaimed asphalt pavement stabilized with cement [thesis]. Nakorn Ratchasima: Suranaree University of Technology; 2013. (In Thai)
- [12] Saghafi M, Tabatabaee N. Performance evaluation of slurry seals containing reclaimed asphalt pavement. Transportation research record: journal of the transportation research board 2019; 2673:358-68.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ชลัท ทิพากรเกียรติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
2/4 ถนนราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000
E-mail: ninechat14@hotmail.com โทรศัพท์ 088-340-3799
งานวิจัยที่สนใจ: งานวิจัยด้านวิศวกรรมความปลอดภัยทางถนน วิศวกรรม
จราจรและวางแผนการขนส่ง และงานด้านวัสดุวิศวกรรม

Article History:

Received: May 24, 2018

Revised: August 30, 2019

Accepted: August 31, 2019