การศึกษาคุณสมบัติค่าการต้านทานการขัดถูของวัสดุมวลรวม จากแหล่งวัสดุมวลรวมที่ใช้ในงานก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

The Study Properties of Polishing Stone Value from The Source of Aggregate Materials Used in Asphalt Concrete

บำรุง บัวชื่น[1,*] วรรณิกา ขันคำนันตี๊ะ[2] และขวัญชัย เทศฉาย[3]

[1,3] สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก จ.ตาก
[2] เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จ.พิษณุโลก
**Corresponding author; E-mail address: bumrung@rmutl.ac.th*

บทคัดย่อ

การออกแบบการก่อสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นขั้นตอนการออกแบบที่สำคัญเนื่องจากต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆอย่าง ทั้งปริมาณการจราจร น้ำหนักบรรทุก อายุการใช้งาน ฯลฯ ดังนั้นการพิจารณาคัดเลือกวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องถูกนำพิจารณาเป็นลำดับแรก ผ่านการทดสอบคุณสมบัติให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานและข้อกำหนดต่างๆ เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุส่งผลโดยตรงต่ออายุการของผิวทาง การทดสอบหาค่าการขัดถูของวัสดุมวลรวม (Polishing Stone Value, PSV) เป็นการทดสอบเพื่อประเมินค่าการสึกหรอจากการขัดถูของวัสดุมวลรวม ที่ใช้ในงานก่อสร้างผิวทาง ตามมาตรฐาน ASTM E303 และ B.S. 812-1967 โดยการทดสอบดังกล่าว ทำได้โดยการคัดเลือกวัสดุมวลรวมจากแหล่งต่างๆ มาเรียงใส่แบบ จากนั้นนำไปใส่เครื่องมือสดทอบ Accelerated Polishing Machine แล้วเริ่มทำการทดสอบโดยวัสดุมวลรวมจะถูกขัดถูด้วยล้อยางร่วมกับวัสดุขัดถูหยาบและวัสดุขัดถูละเอียด จากนั้นเมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดนำไปทดสอบด้วยเครื่องมือวัดค่าความต้านทานการลื่นไถล British Pendulum Tester ซึ่งค่าที่อ่านได้จะเป็นค่า PSV สำหรับงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกวัสดุมวลรวมในประเทศไทยจำนวนทั้งสิ้น 3 แหล่ง โดยวัสดุมวลรวมที่เลือกใช้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ หินปูน หินบะซอลต์ และหินแกรนิต จากผลการทดสอบพบว่าหินบะซอลต์มีค่าความต้านทานต่อการขัดถูมากที่สุด รองลงมาคือหินแกรนิต และหินปูนตามลำดับ

คำสำคัญ: การขัดถูของวัสดุมวลรวม, การทดสอบการต้านทานการลื่นไถล, ค่าต้านทานการขัดถู

Abstract

The design of asphalt concrete pavement construction is an important process. Because many factors must be considered such as traffic volume, load weight, service life, etc. Therefore, the selection of construction materials is an important step that must be considered first in passing the qualification tests to various standards. Because the properties of the material directly affect the service life and deterioration of the pavement. Polishing Stone Value (PSV) is a test to assess the abrasion wear of pavement aggregates according to ASTM E303 and B.S. 812-1967. The test begins with the selection of aggregates from various sources. to put in a pattern and put it into the Accelerated Polishing Machine, then start testing. The aggregate is abrasive with rubber wheels in combination with coarse abrasives and fine abrasives. When the test time is over, take it to the test again with the British Pendulum Tester, the reading will be PSV. For this research, the research team selected 3 aggregates in Thailand. The selected aggregates were divided into 3 types: limestone, basalt, and granite. The size of the aggregate used in the test was 3/8". The results showed that basalt had the highest abrasion resistance. followed by granite and limestone, respectively.

Keywords: abrasion of aggregates, skid resistance test, abrasion resistance value

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีสถิติจำนวนผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตบนถนนติดอันดับโลกต่อเนื่องมานานหลายปี สภาพผิวทางมาปลอดภัยอันเนื่องมาจากค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV, Skid Resistance Value) หรือค่าความเสียดทาน (μ, Friction) บนถนนต่ำ [1] ร่วมกับสาเหตุปัจจัยอื่นๆ เช่น การใช้ความเร็วในการขับขี่ยานพาหนะสูงเกินกว่ากฎหมายกำหนด หรือสภาพผิวทางเปียกเนื่องจากฝนตก ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้เป็นสาเหตุความเสี่ยงที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุในลักษณะยานพาหนะลื่นไถลหลุดออกนอกเส้นทาง

ก่อให้เกิดความสูญเสียในชีวิตและทรัพย์สินที่ประเมินค่าไม่ได้ของผู้ประสบอุบัติเหตุ ค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV) หรือค่าความเสียดทาน (μ) เป็นค่าที่ใช้ในการประเมินสภาพความปลอดภัยของผิวทางด้วยเครื่องมือวัดประเภทต่างๆ ได้แก่ British Pendulum Tester (BPT) Dynamic Friction Tester (DFT) และ Airport Surface Friction Tester (ASFT) เป็นต้น ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหรือถนนลาดยาง (Asphalt Concrete) พบมากบนโครงข่ายของถนนของประเทศไทย วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) และวัสดุมวลรวม (Aggregate) เป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ในการออกแบบและก่อสร้างทางนั้น อายุการใช้งานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการนำมาพิจารณาเป็นลำดับต้นๆ ดังนั้นวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างจึงต้องเป็นไปตามมาตรฐานหรือข้อกำหนด

วัสดุมวลรวม (Aggregate) นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุในอุตสาหกรรมก่อสร้างประเภทต่างๆ มีเกณฑ์ข้อกำหนดและมาตรฐานควบคุมตามแต่ละประเภทการใช้งาน การทดสอบคุณลักษณะมวลรวมส่วนใหญ่ดำเนินภายใต้มาตรฐานหรือข้อกำหนดที่เป็นที่ยอมรับ เช่น AASHTO ASTM DH-S และ TIS โดยการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมของงานทางเบื้องต้นประกอบไปด้วย การทดสอบหาขนาดคละของตะแกรง (ล้าง-ไม่ล้าง) การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวม (หยาบ-ละเอียด) การทดสอบดัชนีความ แบน-ยาว การทดสอบหาค่าการสึกหรอโดยใช้เครื่อง Los Angeles เป็นต้น สำหรับการทดสอบหาค่าการขัดถูของหิน (polishing stone value ,PSV) เป็นวิธีการทดลองหาความต้านทานการลื่นไถลของหินเมื่อถูกขัด ซึ่งเป็นการทดสอบทางกลสมบัติวัสดุมวลรวม ซึ่งดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E303 และ B.S. 812-1967 สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติค่าความต้านทานการขัดถูของวัสดุมวลรวม (PSV) 3 ประเภท ได้แก่ วัสดุมวลรวมหินปูน (Limestone) วัสดุมวลรวมหินแกรนิต (Granite) และวัสดุมวลรวมหินบะซอลต์ (Basalt) จากแหล่งโรงโม่หิน 3 แหล่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมงานก่อสร้าง เพื่อทดสอบค่าความคงทนของวัสดุมวลรวมเทียบกับจำนวนรอบที่ทำการทดสอบ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 *ค่าความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance Value, SRV) หรือค่าความเสียดทาน (Friction, μ)*

ค่าความต้านทานการลื่นไถลหรือค่าความเสียดทานของผิวทาง เป็นค่าการประเมินสภาพความปลอดภัยของผิวทาง เนื่องจากค่าความต้านทานการลื่นไถลหรือค่าความเสียดทานต่ำ เป็นปัจจัยความเสี่ยงหนึ่งที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุทางถนน ซึ่งเป็นความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุในลักษณะที่ทำให้ยานพาหนะลื่นไถลหลุดออกนอกเส้นทาง โดยมีปัจจัยร่วม คือการใช้ความเร็วของยานพาหนะของผู้ขับขี่ ผิวทางเปียกจากสภาพฝนตก (Wet Condition) และพฤติกรรมของผู้ขับขี่ยานพาหนะ ในกรณีที่ผิวทางมีค่าความเสียดทานสูงจะมีโอกาสในการลดความรุนแรงของอุบัติเหตุลงได้ (Moyer, 1959) สำหรับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานการลื่นไถล (PSV) และค่าความเสียดทาน (μ) ได้แก่ วัสดุก่อสร้างผิวทาง (แอสฟัลต์ซีเมนต์+วัสดุมวลรวม) สูตรการออกแบบผิวทาง (Job-Mix) ปริมาณการจราจรบนสายทาง ลักษณะผิวทาง (เรียบ-ขรุขระ) และสภาพแวดล้อมบนสายทาง เป็นต้น

2.2 *คุณลักษณะและรูปร่างของวัสดุมวลรวม (Aggregate Characteristics and Surface Texture)*

วัสดุที่มีความแข็งและมีเหลี่ยมมุม (Angular) จะมีความทนทานต่อการขัดสีของดอกยางจากล้อยานพาหนะ สามารถเจาะผ่านฟิล์มของของเหลวที่กั้นอยู่ระหว่างผิวสัมผัสหน้ายางและพื้นผิวทางได้ดีกว่า ทำให้ค่าแรงยึดเกาะของยางและพื้นผิวทางมีค่าสูงกว่าวัสดุที่มีผิวเรียบหรือผิวมน (Rounded Aggregates) เป็นผลให้ค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV) หรือค่าความเสียดทาน (μ) สูงตามไปด้วย

แรงเสียดทานของผิวทางมี 2 องค์ประกอบ ได้แก่ แรง Adhesion และ Hysteresis [2] โดยแรง Adhesion เป็นแรงเสียดทานที่เกิดจากการเชื่อมหรือหน่วงจากวัสดุกับยานพาหนะ ขึ้นกับลักษณะพื้นผิวละเอียด Micro-texture และแรง Hysteresis เป็นองค์ประกอบหลักของแรงเสียดทานซึ่งสูญเสียพลังงาน ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป ขึ้นกับลักษณะพื้นผิวหยาบ Macrotexture

NCHRP (2009) ระบุว่าคุณสมบัติด้านความเป็นเหลี่ยมมุม รูปร่าง และลักษณะผิวมีความสำคัญต่อค่า Micro-texture และ Macro-texture ของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต วัสดุมวลรวมละเอียดที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม และทรงลูกบาศก์ จะให้ค่า Micro-texture ที่สูง แปรผันกับวัสดุที่เป็นเหลี่ยมมุมที่มีสัณฐานกลมให้ค่า Micro-texture ต่ำ สำหรับวัสดุมวลรวมหยาบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมจะให้ค่า Macro-texture ที่สูง แปรผันกับวัสดุมวลรวมหยาบที่มีสัณฐานกลมให้ค่า Macro-texture ที่ต่ำ สำหรับค่า Micro-texture และ Macro-texture ส่งผลโดยตรงต่อค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV) และค่าความเสียดทาน (Friction) ของแอสฟัลต์คอนกรีต

วัสดุมวลรวม (Aggregate) เป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผิวทางร่วมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมมีผลต่อความความต้านทานการลื่นไถล (SRV) หรือค่าความเสียดทาน (μ) โดยคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่มีผลต่อค่า SRV, μ ประกอบไปด้วย [3][4]

- ความแข็งแกร่ง
- โครงสร้างและองค์ประกอบของแร่
- รูปร่าง
- ลักษณะผิว
- ความเป็นเหลี่ยมมุม
- ความต้านทานการสึกหรอจากวิธี abrasion resistance
- ความต้านทานการขัดเกลี้ยง
- ความต้านทานการสึกหรอจากวิธี soundness

วัสดุมวลรวมที่มีคุณสมบัติด้านความแข็งแกร่ง จะบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการสึกหรอได้สูง ซึ่งจะส่งผลต่อความคงทนของวัสดุมวลรวมต่อการขัดด้วย [5]

2.3 *วัสดุมวลรวม (Aggregate)*

3.1.2 หินปูน (Limestone)



รูปที่ 1 หินปูน (Limestone)

หินปูน (Limestone) หรือแร่แคลไซต์ (Calcite) เป็นหินในกลุ่มหินตะกอน เกิดจากการผุพัง โดยอนุภาคของการผุพังเรียกว่าตะกอน ซึ่งอาจสะสมตัวอยู่กับที่ หรือถูกพัดพาโดยตัวกลาง เช่น น้ำ ลม ธารน้ำแข็ง และอาจทับถามกันตามสถานที่ต่างๆ เมื่อตะกอนสะสมกันมากขึ้นตะกอนส่วนล่างอาจก็อาจจะถูกกดทับด้วยตะกอนส่วนบน เมื่อการกดทับเกิดขึ้นเป็นเวลานานตะกอนก็จะเชื่อมประสานกันเป็นชั้นของหิน โดยการเชื่อมประสานนั้นส่วนใหญ่จะเกิดจากสารละลายในน้ำที่ซึมผ่าน [6] หินปูนพบได้ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทยจึงนิยมนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ซึ่งมักนิยมใช้แหล่งวัสดุมวลรวมในพื้นที่

3.1.2 หินแกรนิต (Granite)



รูปที่ 2 หินแกรนิต (Granite)

หินแกรนิต (Granite) เป็นหินอัคนีประเภทแทรกซ้อน มีเนื้อหยาบ เป็นหินสีอ่อนเพราะแร่ประกอบส่วนใหญ่เป็นเฟลด์สปาร์และควอร์ตซ์ สำหรับแร่เฟลด์สปาร์ส่วนมากจะพบได้หลายสี แต่ส่วนใหญ่จะมีสีขาวขุ่น นวลชมพู รอยแตกของผลึกมีลักษณะเรียบ แต่ควอร์ตซ์จะใสและมีรอยแตกขรุขระ แร่เป็นสีเข้ม เช่นไมก้าและฮอร์นเบลนด์ หินแกรนิตมีความแข็งแรงสูงและสวยงามจึงมักนำมาขัดเรียบและใช้ในงานตกแต่ง [6]

3.1.2 หินบะซอลต์ (Basalt)



รูปที่ 3 บะซอลต์ (Basalt)

หินบะซอลต์ (Basalt) เป็นหินที่เนื้อแน่นละเอียด มักมีรูพรุนเพราะก๊าซผุดออกขณะเย็นตัวบนผิวโลก แร่ที่สำคัญคือ เฟลด์สปาร์ ไพร็อกซีนและโอลิวีน ลักษณะสีของเนื้อหินจะเป็นสีเทาดำไปจนถึงดำเข้ม โดยปกติหินบะซอลต์นิยมนำไปใช้เป็นวัสดุมวลรวมสำหรับก่อสร้างผิวทางถนน หรือผิวทางสนามบิน หรือทางพิเศษที่ต้องการคุณสมบัติเฉพาะ เช่นงานเทพื้นรองหมอนและรางรถไฟ เป็นต้น

2.4 *การทดสอบความคงทนต่อการขัดถูของหิน (Polishing Stone Value, PSV)*

Polishing stone value (PSV) เป็นวิธีการหาค่าคุณสมบัติด้านค่าความต้านทานการขัดถูของหินตามมาตรฐาน B.S. 812-1997 มีวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

เครื่องวัดค่าความต้านทานการลื่นไถล (British Portable Tester) ตัวเครื่องประกอบด้วยฐานรับเครื่องรูปตัว T แต่ละปลายขาปรับให้เป็นสกรูปรับให้สูงต่ำได้ มีระดับน้ำติดที่โคนขาข้างใดข้างหนึ่งเพื่อปรับให้เครื่องมือทดสอบอยู่ในแนวดิ่ง เสาเครื่องเป็นเสากลมกลวง แขนแกว่งประกอบไปด้วยก้านอลูมิเนียมและลูกตุ้มปลายแขน ภายในลูกตุ้มเป็นแผ่นยางยกขึ้นพ้นตัวอย่าง น้ำหนักแขนแกว่งรวมลูกตุ้มและแผ่นยางหนัก 1.50 ± 0.03 กิโลกรัม จุดศูนย์ถ่วงอยู่ห่างจากจุดหมุน 40.5 ± 0.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยแผ่นยางทดสอบต้องมีอายุน้อยกว่า 6 เดือน และมีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของแผ่นยางทดสอบ

คุณสมบัติ	อุณหภูมิ °C				
	0	10	20	30	40
Resilience, %	42-47	55-62	61-68	64-71	66-73
Hardness degrees	55 ± 5				

เครื่องขัด Accelerated Polishing Machine ประกอบไปด้วยวงล้อเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร กว้าง 4.4 เซนติเมตร สำหรับบรรจุแผ่นตัวอย่างขนาดกว้าง 4.4 เซนติเมตร ยาว 9.0 เซนติเมตร ได้ 14 แผ่น โดยมีล้อยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 20 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร เป็นล้อผิวหน้าเรียบมีค่าความแข็งของยาง 55 ± 5 IRH degrees กดทับอยู่กับแผ่นตัวอย่างด้วยตุ้มน้ำหนัก 40 ± 0.5 กิโลกรัม และมีรางปล่อยผงขัดหน้าผิวยาง ดังแสดงในรูปที่ 5

สำหรับตารางที่ 1 เป็นตารางกำหนดค่าการขัดถูของหินของวัสดุผิวทาง (PSV) [8]



รูปที่ 4 เครื่องมือทดสอบ British Pendulum Tester (BPT)



รูปที่ 5 เครื่องมือทดสอบ Polishing Machine

ตารางที่ 2 การกำหนดค่าการขัดถูของหินของวัสดุผิวทาง (PSV)

Site	Definition	Traffic in commercial vehicles (CV) per lane per day	Min. PSV (%)
A1 (Very difficult)	(i) Approaches to traffic signals on roads with a speed limit greater than 64 km/h (ii) Approaches to traffic signals, pedestrian crossings, and similar hazards on main urban roads	Less than 250 cv/lane/day 250 to 1000 cv/lane/day 1000 to 1750 cv/lane/day More than 1750 cv/lane/day	60 70 70 75
A2 (difficult)	(i) Approaches to major junctions on roads carrying more than 250 commercial vehicles per lane per day (ii) Roundabouts and their approaches (iii) Bends with a radius less than 150 m on roads with a speed limit greater than 64 km/h (iv) Gradients of 5% or steeper, longer than 100 m	Less than 1750 cv/lane/day 1750 to 2500 cv/lane/day 2500 to 3250 cv/lane/day More than 3250 cv/lane/day	60 70 70 75
B (average)	Generally straight sections of and large radius curves on (i) Motorways (ii) Trunk and principal (iii) Other roads carrying more than 250 commercial vehicles per lane per day	Less than 1750 cv/lane/day 1750 to 4000 cv/lane/day More than 4000 cv/lane/day	55 60 65
C (easy)	(i) Generally straight sections of lightly trafficked roads (ii) Other roads where wet accidents are unlikely to be a problem	...	45

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 *วัสดุทดลอง*

การทดสอบหาคุณสมบัติค่าความต้านทานการขัดถู Polishing Stone Value (PSV) ของวัสดุมวลรวมตามมาตรฐานการทดสอบ B.S. 812-1967 ในการทดสอบนี้ ใช้ลักษณะผิวของวัสดุมวลรวม (Micro-Texture) เป็นตัวแปรต้น ใช้อัตราการลดลงของค่าความต้านทานการขัดถูของวัสดุมวลรวมเป็นตัวแปรตาม และใช้จำนวนรอบการขัดถูเป็นตัวแปรควบคุม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.2 วัสดุมวลรวม

ในงานวิจัยนี้ได้คัดเลือกวัสดุมวลรวมจากแหล่งโรงโม่หินต่างๆ ดังนี้

- หินปูน (Limestone) จากแหล่งโรงโม่ทางภาคเหนือ
- หินแกรนิต (Granite) จากโรงโม่หินในภาคตะวันออก
- หินบะซอล (Basalt) จากโรงโม่หินในภาคตะวันออก

3.1.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ Polishing Machine

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบได้แก่

- ผงขัด เป็นผงขัดอลูมิเนียมคาร์ไบด์ โดยทั่วไปเรียกว่า Alundum มีสองชนิด คือ ผงหยาบ (Corn Emery) และผงละเอียด (Air-Floated Emery Flour)
- ทรายละเอียด ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 ค้างเบอร์ 100
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type I
- ลวดเสริมขนาด 1.2 มิลลิเมตร

3.2 *การทดสอบหาค่า PSV ของวัสดุมวลรวม*

ในการหาค่า PSV ของวัสดุมวลรวมทั้ง 3 ประเภท (หินปูน หินแกรนิต และหินบะซอลต์) ดำเนินการเตรียมการทดสอบดังนี้

ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

- ตัวอย่างของวัสดุมวลรวมที่ใช้ในการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน B.S. 812-1967 โดยนำวัสดุมวลรวมมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 9.52 มิลลิเมตร (BS) ค้างบนตะแกรง 7.94 มิลลิเมตร (BS) โดยตัวอย่างหินมีหน้าเรียบ ไม่แบน และไม่ยาวเกินไป
- นำตัวอย่างวัสดุมวลรวมประมาณ 2 กิโลกรัม มาล้างให้สะอาดและผึ่งให้แห้ง
- ทาน้ำมันหรือจารบีเฉพาะด้านข้างแบบหล่อ (Mold) มาตรฐาน เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างที่หล่อไว้ติดแน่นกับแบบหล่อมาตรฐาน
- เรียงวัสดุมวลรวมลงในแบบหล่อมาตรฐาน จำนวนตัวอย่างละ 4 แบบหล่อ โดยให้จำนวนเม็ดหินในแต่ละแบบหล่ออยู่ในช่วงที่กำหนดตามมาตรฐาน B.S. 812-1967 กำหนดไว้ 40 – 60 เม็ด
- โรยทรายละเอียดตามร่องระหว่างเม็ดหิน โดยให้สูงระหว่าง 1/4 – 1/2 ของความหนาของเม็ดหิน
- ฉีดน้ำให้ทรายเปียก
- วางลวดเสริมขนาด 1.2 มม. จำนวน 3 เส้น ตามความยาวของแบบหล่อ เพื่อกันการแตกร้าวของตัวอย่างในขณะทำการขัดตัวอย่าง
- หล่อด้วยปูนทราย ซึ่งมีส่วนผสมของปูฯซีเมนต์กับทรายละเอียด ด้วยอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก
- เมื่อปูนทรายเริ่มแข็งตัว ปาดผิวให้เรียบด้วยยางแข็ง
- บ่มตัวอย่างที่หล่อไว้ในแบบหล่อ เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง โดยคลุมไว้ด้วยผ้าเปียก
- ถอดแผ่นตัวอย่างออกจากแบบหล่อด้วยความระมัดระวัง และใช้แปรงปัดเม็ดทรายออกตกผิวให้หมด
- นำแผ่นตัวอย่างไปแช่น้ำประมาณ 7-14 วัน โดยคว่ำหน้าด้านเม็ดหินลง

การขัดแผ่นตัวอย่างด้วยเครื่องขัด

- นำแผ่นตัวอย่างมาจัดเรียงในวงล้อเหล็ก ซึ่งบรรจุแผ่นตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 14 แผ่น
- เดินเครื่องขัดแผ่นตัวอย่าง โดยขัดด้วยผงหยาบ (Corn Emery) ปล่อยด้วยอัตรา 20-35 กรัมต่อนาที และปล่อยน้ำจากขวดแก้วที่ตั้งอยู่บนเสาของเครื่องมือด้วยอัตราส่วนเดียวกัน

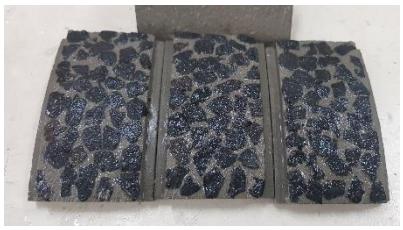
- ทำการขัดถูชิ้นงานตัวอย่างของวัสดุมวลรวมทั้ง 3 ประเภท โดยกำหนดการนำชิ้นงานตัวอย่างเพื่อนำออกมาวัดค่า Polishing Stone Value (PSV) ที่ 0,5,000, 10,000, 25,000, 50,000, 75,000 และ 100,000 รอบ ตามลำดับ พร้อมจดบันทึกค่า อ่านค่าที่ได้จาก f Unit Scale จากเครื่องมือทดสอบ British Pendulum Tester (BPT)



รูปที่ 6 ตัวอย่างชิ้นงานวัสดุหินปูน



รูปที่ 7 ตัวอย่างชิ้นงานวัสดุหินแกรนิต



รูปที่ 8 ตัวอย่างชิ้นงานวัสดุหินแกรนิต



รูปที่ 9 การทดสอบหาค่า PSV ด้วยเครื่อง BPT ที่ f Unit Scale

3.3 *การทดสอบหาค่า PSV ของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต*

การดำเนินงานในส่วนนี้เป็นการจำลองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยการนำวัสดุมวลรวมทั้ง 3 ชนิดมาออกแบบตามอัตราส่วนผสม โดยให้เป็นไปตามมาตรฐานของงานทาง เพื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบค่า PSV ของวัสดุมวลรวม และวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมหยาบและวัสดุเชื่อมประสาน และทำการเตรียมชิ้นตัวอย่าง โดยที่ชิ้นงานทดสอบจะถูกนำมาขึ้นรูปโค้งตามวงกลมของเครื่องขัดสี ขนาดชิ้นงานคือ 82x30x107.3 มม. จำนวน 14 แผ่นต่อหนึ่งวงรอบของเครื่องขัด
- ทำการผสมมวลรวมตามอัตราส่วนผสมตามสูตร Job mix

- นำตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตใส่ในแบบหล่อ (Mold)
- บดอัดตัวอย่างด้วยแม่แรงจนขึ้นรูป ทิ้งตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- นำตัวอย่างออกจากแบบหล่อ และทำการตกแต่งผิวแอสฟัลต์คอนกรีตอีกครั้ง ก่อนที่จะนำไปหล่อด้วยซีเมนต์ขาว
- เตรียมเหล็กตะแกรงวางบนแอสฟัลต์คอนกรีตในแบบหล่อ
- ทำการผสมซีเมนต์ขาวกับทรายในอัตราส่วน 5:1 จากนั้นผสมน้ำให้เข้ากัน
- เทปูนซีเมนต์ขาวลงแบบหล่อ ปาดหน้าให้เรียบทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง แล้วแกะตัวอย่างออกจากแบบ บ่มด้วยการใช้ผ้าชุบน้ำคลุมทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงนำออกจากแบบ เพื่อเตรียมทดสอบในขั้นตอนต่อไป

สำหรับรูปแบบการทดสอบหาค่า PSV จากชิ้นงานตัวอย่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ดำเนินงานดังต่อไปนี้

- นำชิ้นตัวอย่างวางที่วงล้อแล้วยึดตัวอย่างให้แน่นด้วยแผ่นประกับขันสกรูให้แน่นแล้วนำวงล้อเข้าเครื่อง PSV
- ทำการขัดด้วยผงขัดหยาบ (Corn Emery) ปล่อยด้วยอัตรา 20-35 กรัมต่อนาที และปล่อยน้ำจากขวดแก้วที่ตั้งอยู่บนเสาของเครื่องมือด้วยอัตราส่วนเดียวกัน ตามจำนวนรอบเริ่มที่ 0,5,000, 10,000, 25,000, 50,000, 75,000 และ 100,000 รอบ ตามลำดับ
- นำชิ้นตัวอย่างออกมาทำการวัดค่า PSV ด้วยเครื่องมือ Portable Skid Resistance Tester ตามรอบการขัดข้างต้นพร้อมจดบันทึกค่า อ่านค่าที่ได้จาก f Unit Scale เช่นเดียวกับการทดสอบหาค่า PSV ของวัสดุมวลรวมข้างต้น



รูปที่ 10 ตัวอย่างชิ้นงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

4. วิเคราะห์ผลการศึกษา

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าการขัดถู (PSV) ของวัสดุมวลรวม 3 ชนิด ได้แก่ หินปูน หินแกรนิต และหินบะซอลต์ ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 3 ค่า PSV ของวัสดุมวลรวม 3 ประเภท

จำนวนรอบ	วัสดุมวลรวม		
	หินปูน	**หินแกรนิต**	**หินบะซอลต์**
0	52	60	65
5,000	50	55	58
10,000	48	52	54
25,000	45	48	51
50,000	40	46	48
75,000	38	44	45
100,000	35	41	43

ตารางที่ 3 เป็นตารางผลการทดสอบค่า PSV ของวัสดุมวลรวมทั้ง 3 ประเภท พบว่าประเภทของวัสดุมวลรวมมีผลต่อค่าความต้านทานการขัดถู ซึ่งจากผลการทดสอบก่อนทำการขัดที่ 2 รอบพบว่าหินบะซอลต์ให้ค่า PSV ที่ 65 รองลงมาคือหินแกรนิตซึ่งมีค่า PSV อยู่ที่ 60 และหินปูนมีค่า PSV อยู่ที่ 52 และเมื่อทำการขัดถูไปตามจำนวนรอบที่ 5,000, 10,000, 25,000, 50,000, 75,000 และ 100,000 รอบ พบว่าค่าความต้านทานการขัดถูลดลงตามจำนวนรอบ ซึ่งที่จำนวนรอบสุดท้ายค่า PSV ของวัสดุมวลรวมทั้ง 3 ประเภท หินบะซอลต์อยู่ที่ 43 หินแกรนิตอยู่ที่ 41 และหินปูนอยู่ที่ 35 จะเห็นได้ว่าหินปูนดังกล่าวให้ค่า PSV ที่จำนวน 100,000 รอบต่ำที่สุด

ตารางที่ 4 ค่า PSV ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

จำนวนรอบ	วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต		
	หินปูน	**หินแกรนิต**	**หินบะซอลต์**
0	73	78	77
5,000	71	75	75
10,000	68	71	72
25,000	63	66	68
50,000	55	58	59
75,000	48	52	51
100,000	46	48	47

ตารางที่ 4 เป็นตารางผลการทดสอบค่า PSV ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้วัสดุมวลรวมทั้ง 3 ประเภท ผลการทดสอบพบว่าก่อนการทดสอบการขัดถู ด้วยเครื่อง Polishing Machine ค่า PSV ของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ 0 รอบ มีค่า PSV ที่สูงมาก โดยหินแกรนิตมีค่า PSV ที่ 78 หินบะซอลต์มีค่า PSV อยู่ที่ 77 และหินปูนมีค่า PSV อยู่ที่ 73 จากผลการทดสอบดังกล่าวพบว่าค่า PSV ของวัสดุมวลรวมที่นำมาผสมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ให้ค่าความฝืดสูง เมื่อเพิ่มจำนวนรอบการขัดพบว่าค่า PSV ลดลงตามจำนวนรอบ โดยที่จำนวนรอบขัด 100,000 รอบ วัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตของวัสดุมวลรวมทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่วัสดุ

หินแกรนิตมีค่า PSV อยู่ที่ 48 หินบะซอลต์มีค่า PSV อยู่ที่ 47 และหินปูนอยู่ที่ 46 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่า PSV ของวัสดุมวลรวมหินกับวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่าวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตให้ค่าต้านทานการขัดถูสูงกว่าวัสดุมวลรวมหินธรรมดา เนื่องจากส่วนผสมของวัสดุประสานแตกต่างกัน ทำให้ค่าความต้านทานการขัดถูมีผลต่างกันอย่างชัดเจน สำหรับประเภทของวัสดุมวลรวมส่งผลต่อค่า PSV โดยตรงและเห็นความแตกต่างระหว่างประเภทของวัสดุมวลรวมอย่างชัดเจนเมื่อทดสอบการขัดถูด้วยวัสดุประสานปูนปาสเตอร์ แต่เมื่อทำการจำลองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้วัสดุประสานเป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ ประเภทของวัสดุมีค่าความต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยพิสูจน์ได้จากผลการขัดถูที่จำนวนรอบต่างๆ เป็นต้น

5. สรุปผลการวิจัย

ประเภทของวัสดุมวลรวมส่งผลต่อค่าความต้านทานการขัดถูของวัสดุมวลรวม (Polishing Stone Value, PSV) โดยหินบะซอลต์ให้ค่าความต้านทานการขัดถูมากที่สุด รองลงมาคือหินแกรนิต และหินปูน แต่เมื่อนำไปจำลองเป็นสภาพผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้วัสดุประสานเป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ พบว่าประเภทของวัสดุมวลรวมส่งผลต่อค่าความต้านทานการขัดถู (PSV) ในช่วงเริ่มต้น และเมื่อผ่านการใช้งานไประยะหนึ่งค่าความต้านทานการขัดถูจะมีค่าใกล้เคียงกัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ศูนย์ทดสอบวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่กรุณาอนุเคราะห์สถานที่ดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Cairney, P. (1997). Skid Resistance and Crashes a Review of the Literature. *ARRB Transport Research Ltd*, Vermont South Victoria Australia, Research Report No. 311

[2] Guide for Pavement Friction American Association of State Highway and Transportation reserved. (2008).

[3] Dahir, S.H. And Henry, J.J. (1978). Alternatives for the Optimization of Aggregate and Pavement Properties Related to Friction and Wear Resistance. Report No. FHWA-RD-78-209, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

[4] Kandhal, P.S., Lynn, C.Y., Parkker, Jr. F. (1998). Characterization Tests for Mineral Fillers Related to Performance of Asphalt Paving Mixtures. National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Auburn, AL, NCAT Report No.98-2.

[5] Henry, J.J. (2000). Evaluation of Pavement Friction Characteristics. NCHRP Synthesis 291, Washington, D.C.

[6] วัชรินทร์ กาสลัก และดลฤดี หอมดี (2558). ธรณีวิทยา วิศวกรรม. วิศกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า 82-83.

[7] B.S.