การทดสอบคุณสมบัติผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตบนทางยกระดับจากการใช้งานกว่า 26 ปี
Asphalt Concrete Properties testing and Performance assessment: 26 years of service on elevated road

เอกรินทร์ เหลืองวิลัย[1,*] เอกพล เพชรศรีช่วง[2]

[1] *ฝ่ายวิจัยและพัฒนา-กลุ่มงานธุรกิจใหม่ บริษัท ทางยกระดับดอนเมือง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ*
[2] *ฝ่ายซ่อมบำรุงรักษา บริษัท ทางยกระดับดอนเมือง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ*
**Corresponding author; E-mail address: ekarin.lue@tollway.co.th*

บทคัดย่อ

ทางยกระดับอุตราภิมุขช่วงดินแดง-อนุสรณ์สถานเป็นทางยกระดับขนาด 3 ช่องจราจรต่อทิศทาง มีความยาวประมาณ 21 กิโลเมตร มีทางขึ้นลงจำนวน 24 จุด โครงสร้างส่วนบนมีความกว้างรวม 25.35 เมตร เป็นคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวที (T-Girder) จำนวน 10 ตัว พื้นคอนกรีตเทในที่หนา 18 เซนติเมตร ปูลาดทับด้วยผิวแอสฟัลต์คอนกรีต หนา 5 เซนติเมตร มีรอยต่อเพื่อการขยายตัวในทุกๆ เสา เป็นชนิด Strip Seal และปูทับด้วย Asphaltic Plug Joint รองรับปริมาณจราจรประมาณ 100,000 เที่ยวต่อวัน ทางเปิดให้บริการมาตั้งแต่ปี 2537 ยังไม่พบความเสียหายของผิวทางที่แสดงถึงการเสื่อมกำลังวัสดุ อาทิ หลุมบ่อ หรือ ร่องล้อ ได้ปรับปรุงเพื่อเพิ่มความฝืดด้วยวิธี Micro Surfacing ในปี 2550 และ 2559 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผิวทางใช้งานมาตั้งแต่ 2537 เพื่อให้เกิดความมั่นใจในคุณภาพของผิวทาง จึงได้ทดสอบคุณสมบัติวัสดุและประเมินคุณภาพ หลังจากใช้งานผิวทางมาเป็นระยะเวลากว่า 26 ปี ได้เจาะตัวอย่างวัสดุทุกๆ 1 กิโลเมตร ทั้ง 3 ช่องทาง ทดสอบความหนาแน่น ปริมาณช่องว่าง ร้อยละของแอสฟัลต์ในส่วนผสม ค่ากำลังและการไหล (Stability & Flow) และทำการตรวจวัดความฝืด (IFI) ของผิวทางด้วยวิธี Fixed Slip พร้อมกับตรวจวัดความขรุขระ (IRI) และความลึกร่องล้อแบบต่อเนื่องด้วย Laser Profilometer จากนั้นเอาผลการเจาะสำรวจวัสดุ วางซ้อนกับค่า IFI, IRI และค่าร่องล้อ โดยอ้างอิงกับพิกัด GPS ควบคู่กับภาพถ่าย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติผิวทางด้วยข้อมูลที่รอบด้านเท่าที่ตรวจวัดได้

ตัวอย่างวัสดุจำนวน 197 ก้อน มีความหนาแน่น 2.22-2.46 กรัม/ลบ.ซม ปริมาณช่องว่าง 1.7-11.3% ปริมาณแอสฟัลต์ 4.95-5.13% ค่า Stability 1,523-6,850 ปอนด์ ตัวอย่าง 99% มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ม. 408 ความลึกร่องล้อเฉลี่ย 5.11 มิลลิเมตร ปริมาณพื้นที่เป็นไปตามมาตรฐาน 99.5% ค่าความขรุขระเฉลี่ย 2.74 เมตร/กิโลเมตร ปริมาณพื้นที่เป็นไปตามมาตรฐาน 94.9% และ ค่าความฝืดเฉลี่ย 0.41 ปริมาณพื้นที่เป็นไปตามมาตรฐาน 95.6% โดยรวมแล้วถือว่าวัสดุแอสฟัลต์มีคุณสมบัติดีกว่าที่คาดสำหรับผิวทางอายุ 26 ปี และยังคงมีความเรียบและความฝืดเป็นตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

คำสำคัญ: วิธีมาร์แชลล์, **IRI**, **IFI,** ทางยกระดับ

Abstract

Don Muang Tollway is 6 lanes elevated road. There are 3 lanes in each carriage way. The length is 21 km approximately. There are 24 on-off ramps. Superstructure is 25.35 m width. The structure is comprised of 10 T-girders with 18 cm concrete deck slab overlaid by 5 cm thick asphaltic pavement. Strip seal expansion joint was installed at the end of each span into concrete deck. Asphaltic plug joint was overlaid over the joint. AADT is approximately 100,000 trips/day. Tollway has been in service since 1994. In order to ensure 26 years old pavement quality, asphaltic concrete material has been tested. Samples of each lane were collected every kilometer. Marshall method such as density, void ratio, asphalt content, stability & flow has been performed. Pavement properties have been measured. International Friction Index (IFI) were measured by fixed slip method. International Roughness Index (IRI) and rut depth were measured by laser profilometer. All of the test results were overlaid together using GPS basis couple with pavement photographs. Pavement properties were diagnosed and evaluated.

Total 197 cored samples were tested. Density is 2.22-2.46 g/sq.cm. Void ratio is 1.7-11.3%. Asphalt content is 4.95-5.13%. Stability is 2,560-6,850 lb. Sample of 99% has properties fall within Department of Highway's standard# 408. Average rut depth is 5.11 mm, 99.5% is within standard. Average IRI is 2.71 m/km, 94.9% is within standard. Average IFI value is 0.41, 95.6% is within standard. These properties are beyond expectation for 26 years old pavement. Smoothness and friction are still good in service.

Keywords**:** Marshall method, IRI, IFI, tollway

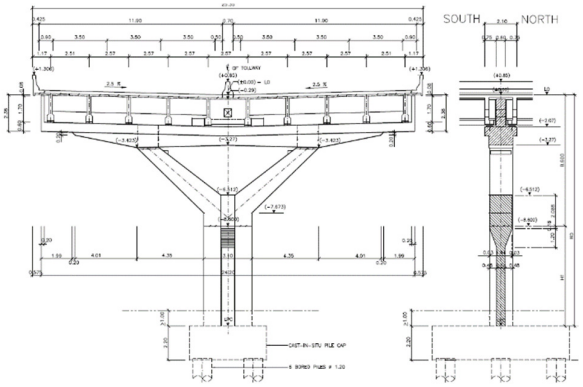
1. คำนำ

ทางยกระดับอุตราภิมุข ช่วงดินแดง-อนุสรณ์สถาน หรือที่เรียกว่า ทางยกระดับดอนเมือง ตั้งอยู่เหนือถนนวิภาวดีรังสิต มีระยะทาง 20 กม. เป็นทางยกระดับขนาด 3 ช่องจราจรต่อทิศทางดังรูปที่ 1 มีปริมาณจราจรเฉลี่ย 55,954 เที่ยวต่อวัน (ปี 2564) มีปริมาณรถมากกว่า 4 ล้อขึ้นไปจำนวน 2.8% ให้บริการลักษณะเดียวกันกับทางพิเศษ กล่าวคือเป็น Freeway ที่ออกแบบด้วยมาตรฐานเรขาคณิตทางถนนสูง ไม่มีสัญญาณไฟจราจร มีการควบคุมทางขึ้น-ลง มีการจำกัดประเภทยานพาหนะ มีการจัดให้มีอุปกรณ์ให้ข้อมูลด้านการจราจรและอุปกรณ์ความปลอดภัยด้านการจราจรที่ดี มีการบำรุงรักษาและคงระดับการให้บริการอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถเดินทาง

ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว ด้วยความที่เป็นถนนมาตรฐานสูง ทำให้ใช้ความเร็วได้เป็นอย่างดี

รูปที่ 1 ทางยกระดับดอนเมือง

โครงสร้างทางยกระดับเป็นรูปตัว Y ดัง**รูปที่ 2** โครงสร้างส่วนบนมีความกว้างรวม 25.35 เมตร เป็นคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวที (T-Girder) จำนวน 10 ตัว พื้นคอนกรีตเทในที่หนา 18 เซนติเมตร ปูลาดทับด้วยผิวแอสฟัลต์คอนกรีต หนา 5 เซนติเมตร มีรอยต่อเพื่อการขยายตัวในทุกๆ เสา เป็นชนิด Strip Seal และปูทับด้วย Asphaltic Plug Joint



รูปที่ 2 โครงสร้างทางยกระดับรูปตัววาย

ทางยกระดับฯ เปิดให้บริการมาตั้งแต่ปี 2537 ยังไม่พบความเสียหายของผิวทางที่แสดงถึงการเสื่อมกำลังวัสดุ อาทิ หลุมบ่อ หรือ ร่องล้อ ได้ปรับปรุงเพื่อเพิ่มความฝืดด้วยวิธี Micro Surfacing ในปี 2550 และ 2559 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เกิดความมั่นใจในคุณภาพของผิวทาง จึงมีความประสงค์จะศึกษาทดสอบคุณสมบัติวัสดุและประเมินคุณภาพของผิวทางหลังจากใช้งานผิวทางมาเป็นระยะเวลากว่า 26 ปี ได้เจาะตัวอย่างเพื่อทดสอบคุณสมบัติวัสดุตามวิธี Marshall และ คุณสมบัติเชิงคุณภาพในการใช้งานได้แก่ ความฝืด ความขรุขระ และร่องล้อ เพื่อให้มั่นใจได้ว่า ผิวทางยังมีคุณสมบัติที่ดีและใช้งานได้อยู่จริง

2. คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

2.1 วัสดุ

คุณสมบัติวัสดุของแอสฟัลต์คอนกรีต ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ที่ ทล.-ม. 408 ได้กำหนดคุณสมบัติวัสดุ และ คุณสมบัติด้านกำลังดัง**รูปที่ 3** คุณสมบัติวัสดุ ได้แก่ ขนาดคละและปริมาณแอสฟัลต์ หากมีส่วนผสมที่ดีจะได้คุณสมบัติด้านกำลัง ที่ต้องการ คือ ค่า Stability และ Flow

ตารางที่ 1 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้

ขนาดที่ใช้เรียก มิลลิเมตร (นิ้ว)	9.5 (3/8)	12.5 (1/2)	19.0 (3/4)	25.0 (1)
สำหรับชั้นทาง	Wearing Course	Wearing Course	Binder Course	Base Course
ความหนา มิลลิเมตร	25-35	40-70	40-80	70-100
ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร(นิ้ว)	ปริมาณผ่านตะแกรร้อยละโดยมวล			
37.5 (1 1/2)				100
25.0 (1)			100	90-100
19.0 (3/4)		100	90-100	-
12.5 (1/2)	100	80-100	-	56-80
9.5 (3/8)	90-100	-	56-80	-
4.75 (เบอร์ 4)	55-85	44-74	35-65	29-59
2.36 (เบอร์ 8)	32-67	28-58	23-49	19-45
1.18 (เบอร์ 16)	-	-	-	-
0.600 (เบอร์ 30)	-	-	-	-
0.300 (เบอร์ 50)	7-23	5-21	5-19	5-17
0.150 (เบอร์ 100)	-	-	-	-
0.075 (เบอร์ 200)	2-10	2-10	2-8	1-7
ปริมาณแอสฟัลต์ รอยละโดยมวลของมวลรวม	4.0-8.0	3.0-7.0	3.0-6.5	3.0-6.0

ตารางที่ 3 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต

รายการ	ชั้นทาง Wearing Course	Wearing Course	Binder Course	Base Course	Shoulder
	ขนาด 9.5 มม.	ขนาด 12.5 มม.			
Blows	75	75	75	75	50
Stability N	8006	8006	8006	7117	7117
(lb)	(1800)	(1800)	(1800)	(1600)	(1600)
Flown 0.25 mm (0.01 in)	8-16	8-16	8-16	8-16	8-16
Percent Air Voids	3-5	3-5	3-6	3-6	3-5
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA) Min	15	14	13	12	14
Stability/Flow Min N/0.25 mm	712	712	712	645	645
(lb/0.01 in)	(160)	(160)	(160)	(145)	(145)
Percent Strength Index Min	75	75	75	75	75

หมายเหตุ (1) การหดลองเพื่อออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ให้ดำเนินการตามวิธีการหดลองที่ ทล.-ท. 604/2517 "วิธีการหดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall"

รูปที่ 3 คุณสมบัติวัสดุตาม ทล.-ม. 408

2.2 การตรวจสอบคุณสมบัติด้านกำลัง

[1] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายแบบร่องล้อกับคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต งานวิจัยได้ตรวจประเมินความเสียหายของถนนลาดยางในประเทศไทยที่เสียหายจากร่องล้อผนวกกับด้วยการเก็บตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจำนวน 337 ก้อนมาทดสอบ ก้อนตัวอย่างนำมาตรวจวัดความถ่วงจำเพาะ ทดสอบ Marshall ทดสอบโมดูลัสการคืนตัวโดยวิธีแรงดึง ทดสอบค่าความต้านทานการยุบตัวถาวร และ ตรวจวัดปริมาณแอสฟัลต์ พบว่า การยุบตัวถาวรของก้อนตัวอย่างในห้องทดสอบ น้อยกว่าการยุบตัวบนถนนมาก ดังนั้น ความเสียหายแบบร่องล้อมีปัจจัยอื่นๆ

เกี่ยวข้องด้วย เช่นการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต และ/หรือ การยุบตัวในชั้นพื้นทาง

[2] ได้ศึกษาเปรียบเทียบกำลังของแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งใช้วัสดุ AC60-70 กับ วัสดุ Polymer modified asphalt (PMA) โดยมีวัสดุมวลรวม 2 แบบ คือ ขนาดคละขอบบนและขอบล่างตามมาตรฐาน ทล.ม 408 พบว่าค่า Indirect Tensile Strength/Modulus ของ AC60-70 และคละตามขอบบน มีกำลังสูงกว่า PMAและขนาดคละตามขอบล่าง

[3] ได้ศึกษาการเสริมกำลังในการซ่อมแซมถนนลาดยางที่เสียหาย โดยการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ในผิวทางหนา 100 มิลลิเมตร พบว่าการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ช่วยลดขนาดและอัตราการทรุดตัวแบบร่องล้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเสริมที่ความลึก 70 มิลลิเมตร ให้ผลดีกว่าที่ความลึก 50 มิลลิเมตร

[4] ได้ศึกษาประเมินความแข็งแรงและอายุการใช้งานของถนนลาดยางหลังการก่อสร้าง ด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) ใช้ค่าการแอ่นตัว ตัวเฉลี่ยจากเครื่อง FWD ร่วมกับการตรวจวัดความลึกร่องล้อและอายุการใช้งานผิวทาง เพื่อประเมินค่าคงที่ ที่ใช้ในสมการเพื่อวัดอัตราการเสื่อมสภาพของผิวทาง

2.3 การตรวจสอบคุณสมบัติด้านการใช้งาน

[5] ได้มีคู่มือการตรวจสอบและประเมินสภาพทางหลวงท้องถิ่น ได้กำหนดการประเมินสภาพผิวทางด้วยการตรวจวัดดัชนีความเรียบขรุขระสากล (International Roughness index, IRI) โดยใช้ Laser Profilometer ด้วยความเร็ว 30-90 กม./ชม. คำนวณค่า IRI ทุกๆ 100 ม.

[6] ได้ศึกษาการเสื่อมสภาพของผิวทางชนิด AC60-70 และ Slurry Seal ที่อายุ 2-3 ปี โดยใช้เครื่องมือ Sand Patch ประเมินค่าความลึกผิวเฉลี่ย (Mean Texture Depth, MTD) ผนวกกับ เครื่องทดสอบความฝืด Skid resistance (ASFT T-10) ในการตรวจสอบความฝืดและสร้างสมการการเสื่อมสภาพความฝืดของโครงข่ายถนนภายใต้การรับผิดชอบของกรมทางหลวง

[7] ได้ศึกษาการก่อสร้างผิวทางด้วยวัสดุแอสฟัลต์ชนิด AC60-70 บนทางพิเศษ ซึ่งทางพิเศษแต่ละสายทางรองรับปริมาณจราจรและประเภทรถที่แตกต่างกัน มีลักษณะความชำรุดเสียหายแตกต่างกัน ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพการใช้งานของผิวทางด้วยการตรวจวัดความขรุขระ (IRI) และตรวจวัดความฝืด (Skid Resistance) จากนั้นได้ทบทวนเกณฑ์การเลือกใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ให้เหมาะสมกับปริมาณจราจรและปริมาณรถบรรทุก

3. การตรวจสอบคุณสมบัติผิวทางยกระดับ

โดยรวมแล้ว การออกแบบและทดสอบคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทย ยังใช้วิธี Marshall เป็นหลัก ต่อมาภายหลังเริ่มมีการใช้วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภทอื่นๆ ได้แก่ AC70-80 และ PMA มาใช้งาน จึงเริ่มมีการศึกษาการออกแบบส่วนผสมใหม่ อาทิ วิธี Superpave ด้วย อย่างไรก็ตาม ความเสียหายของผิวทาง ส่วนใหญ่เป็นความเสียหายแบบร่องล้อ จึงมีการศึกษาผิวทางต้านทานร่องล้อเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีกำลังสูงกว่าเดิมหรือการเสริมกำลังด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ พร้อมกับการศึกษาความแข็งแรงของโครงสร้างพื้นทางทั้งระบบด้วยเครื่อง FWD งานศึกษาเหล่านี้มุ่งเป้าผิวทางระดับดินเป็นหลัก

แต่ผิวทางบนทางยกระดับมีพฤติกรรมที่แตกต่างออกไป ผิวทางยกระดับไม่มีการทรุดตัวในชั้นพื้นทาง การต้านทานร่องล้อเป็นกำลังของวัสดุผิวทางโดยตรง และทางยกระดับโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ทางพิเศษ และ มอเตอร์เวย์ ต้องการระดับการให้บริการของผิวจราจรที่สูงกว่า จึงมีการตรวจสอบค่าความขรุขระและความฝืดด้วย ซึ่งมีการดำเนินการทั้งในทางพิเศษและมอเตอร์เวย์ งานวิจัยนี้จึงมีความประสงค์ที่จะตรวจสอบทั้งคุณสมบัติวัสดุและคุณสมบัติด้านการใช้งาน ของผิวทางบนทางยกระดับ ดำเนินการทั้ง 2 ส่วน คือการทดสอบวัสดุด้วยวิธี Marshall ได้แก่การทดสอบความหนาแน่น ปริมาณช่องว่าง ร้อยละของแอสฟัลต์ในส่วนผสม ซึ่งจะสะท้อนไปถึงค่ากำลังและการไหล (Stability & Flow) จากนั้นตรวจวัดความฝืด (IFI) ของผิวทางด้วยวิธี Fixed Slip พร้อมกับตรวจวัดความขรุขระ (IRI) และความลึกร่องล้อแบบต่อเนื่องด้วย Laser Profilometer จากนั้นเอาผลการเจาะสำรวจวัสดุวางซ้อนกับค่า IFI, IRI และค่าร่องล้อ โดยอ้างอิงกับพิกัด GPS ควบคู่กับภาพถ่าย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติผิวทางด้วยข้อมูลที่รอบด้านเท่าที่ตรวจวัดได้

3.1 การเก็บตัวอย่างและการตรวจสอบตัวอย่าง

ได้ทำการเจาะกับตัวอย่างวัสดุผิวทางบนทางยกระดับดอนเมืองทุกๆ ระยะทาง 1 กม. ทั้ง 3 ช่องทาง และทางขึ้น-ลง เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติผิวทาง 1) ลักษณะก้อนตัวอย่าง 2) ความหนา ความหนาแน่น และ Void Analysis 3) ค่า Stability & Flow และ 4) ร้อยละของแอสฟัลต์ในส่วนผสม

การเก็บตัวอย่างใช้เครื่องเจาะ (Core Drilling Equipment) พร้อมกระบอกเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว บันทึกสภาพและวัดขนาดตัวอย่าง ดัง**รูปที่ 4** มีจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 197 ก้อน

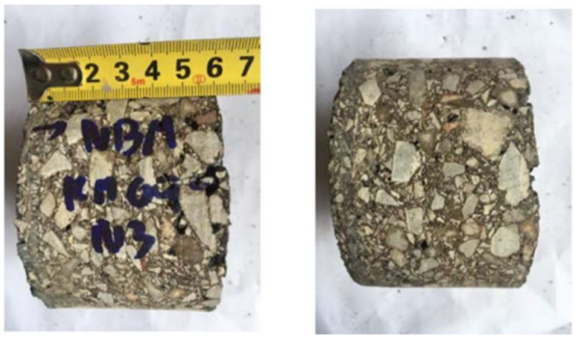
รูปที่ 4 การเจาะตัวอย่างแอสฟัลต์

จำนวนตัวอย่างที่ทำการทดสอบแสดงดัง**ตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 จำนวนตัวอย่างในการทดสอบ

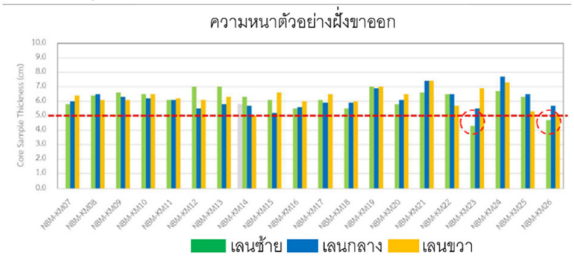
การทดสอบ	ลักษณะ	Void Analysis	Stability Flow	% Bitumen
จำนวน, ก้อน	197	197	151	65

ตัวอย่างที่เก็บมา ตรวจสอบลักษณะทั่วไป และ ตรวจวัดความหนาดัง**รูปที่ 5** พบว่าส่วนใหญ่วัสดุแน่นปกติ มีส่วนประกอบและลักษณะการยึดเกาะของมวลรวมดี ไม่พบรอยร้าวในแนวดิ่งหรือการแยกตัวเป็นชั้นๆ พบเพียงฟองอากาศขนาดเล็ก กระจายอยู่บริเวณผิวตัวอย่าง

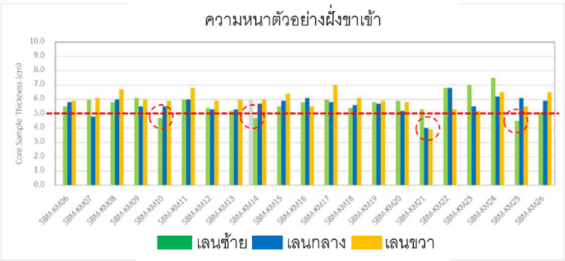


รูปที่ 5 ลักษณะและการตรวจวัดความหนาก้อนตัวอย่าง

ก้อนตัวอย่างมีความหนา 3.9-7.7 ซม. เฉลี่ย 5.7 – 6.5 ซม. ในแต่ละช่องทาง ความหนาเฉลี่ยตลอดสายทางเท่ากับ 6.0 ซม. ดัง**รูปที่ 6** และ**รูปที่ 7** มากกว่าความหนาระบุที่ 5 ซม. พบที่ความหนาน้อยกว่า 5 ซม. จำนวน 6 ก้อนส่วนใหญ่ในช่องทางซ้าย



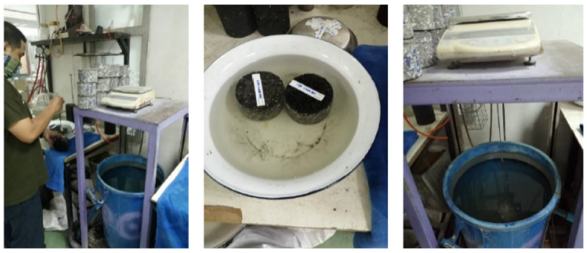
รูปที่ 6 ความหนาก้อนตัวอย่างฝั่งขาออก



รูปที่ 7 ความหนาก้อนตัวอย่างฝั่งขาเข้า

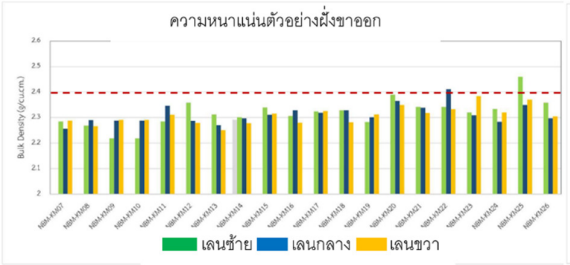
3.2 การทดสอบความหนาแน่นและ Void Analysis

ได้ทดสอบความหนาแน่น (Bulk Density) และ Void Analysis ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ท.604/2517 เทียบเท่า ASTM D-1559 ดัง**รูปที่ 8**

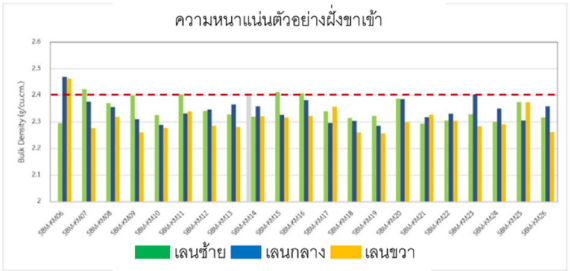


รูปที่ 8 การทดสอบ Void Analysis

พบว่า มีความหนาแน่นระหว่าง 2.11 – 2.47 กรัม/ลบ.ซม. เฉลี่ยตลอดสายทาง 2.324 กรัม/ลบ.ซม. มีปริมาณช่องว่างอากาศ 3.4 – 14.2 % เฉลี่ยตลอดสายทาง 6.8%

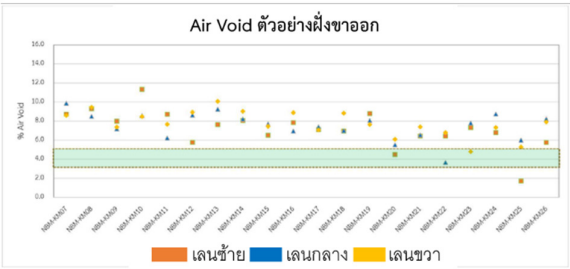


รูปที่ 9 ความหนาแน่นก้อนตัวอย่างฝั่งขาออก

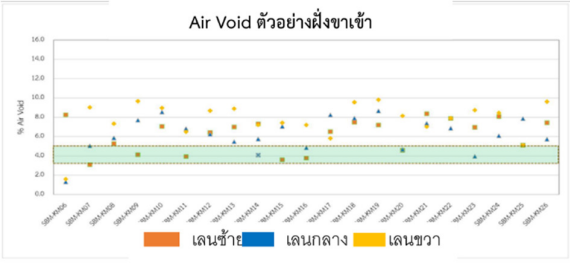


รูปที่ 10 ความหนาแน่นก้อนตัวอย่างฝั่งขาเข้า

ก้อนตัวอย่างเกือบทั้งหมดมีความหนาแน่น ไม่มากกว่า 2.4 กรัม/ลบ.ซม. ตลอดความยาวสายทาง ดัง**รูปที่ 9** และ **รูปที่ 10**



รูปที่ 11 ปริมาณช่องว่างอากาศก้อนตัวอย่างฝั่งขาออก



รูปที่ 12 ปริมาณช่องว่างอากาศก้อนตัวอย่างฝั่งขาเข้า

ตัวอย่างเกือบทั้งหมดมีปริมาณช่องว่างอากาศมากกว่า 3% ดัง**รูปที่ 11** และ **รูปที่ 12** ปริมาณช่องว่างเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาแน่น ก้อน

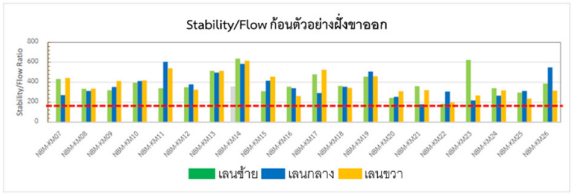
ตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูง มีปริมาณช่องว่างอากาศก็จะลดลงกลับกัน ผลการทดสอบสอดคล้องกันดี

3.3 การทดสอบค่า Stability & Flow

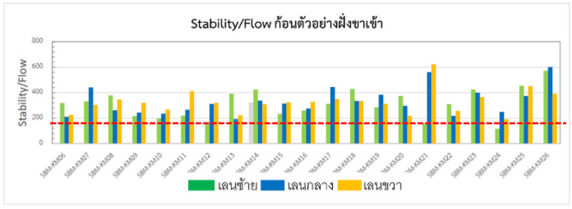
ได้ทดสอบความสามารถในการรับกำลัง Stability & Flow เป็นตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ท.604/2517 โดยวิธี Marshall เทียบเท่า ASTM D-1559 ดังรูปที่ 13

รูปที่ 13 การทดสอบ Stability & Flow

ผลการทดสอบพบว่า ค่า Stability มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3,881 – 4,795 ปอนด์ สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 1,800 ปอนด์ Flow มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 12-13 นิ้ว ทำให้สัดส่วน Stability/Flow อยู่ระหว่าง 313 – 386 ปอนด์/นิ้ว สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 160 ปอนด์/นิ้ว ค่า Stability/Flow ตลอดสายทางแสดงดังรูป**รูปที่ 14** และ **รูปที่ 15**



รูปที่ 14 Stability/Flow ก้อนตัวอย่างฝั่งขาออก



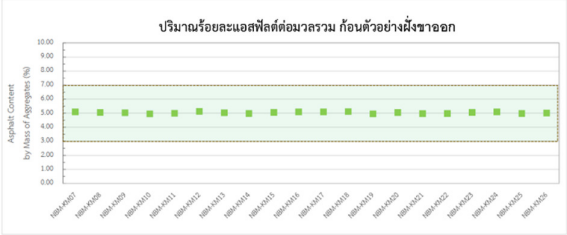
รูปที่ 15 Stability/Flow ก้อนตัวอย่างฝั่งขาเข้า

3.4 การตรวจสอบร้อยละแอสฟัลต์

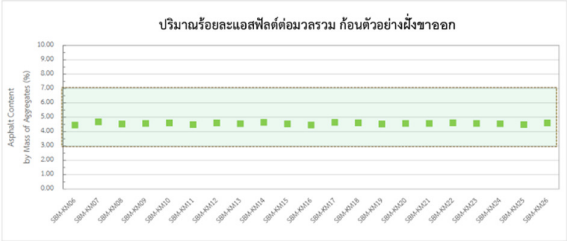
ทดสอบประเมินร้อยละแอสฟัลต์ด้วยวิธี Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving Mixtures: Method A ตามมาตรฐาน ASTM D-2172 หรือ AASHTO T164A ดัง

รูปที่ 16 การตรวจสอบร้อยละแอสฟัลต์

การทดสอบใช้ก้อนตัวอย่าง 3 ก้อนต่อกิโลเมตร จึงมิได้แยกผลการทดสอบเป็นรายช่องทาง ผลการทดสอบพบว่า ก้อนตัวอย่างมีปริมาณแอสฟัลต์ต่อมวลรวม เฉลี่ย 4.93 – 5.18% เฉลี่ย 5.02% ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 3 – 7% ปริมาณแอสฟัลต์ต่อมวลรวมตลอดความยาวสายทางแสดงดังรูป



รูปที่ 17 ปริมาณร้อยละแอสฟัลต์ ก้อนตัวอย่างฝั่งขาออก



รูปที่ 18 ปริมาณร้อยละแอสฟัลต์ ก้อนตัวอย่างฝั่งขาเข้า

3.5 การตรวจวัดค่าความขรุขระและร่องล้อผิวทาง

ได้ตรวจวัดค่าความขรุขระผิวทางสากล (International Roughness Index, IRI) และความลึกร่องล้อ ด้วย Laser Profilometer ตามมาตรฐาน ASTM E950 หัว Laser วัดระยะเป็นตามมาตรฐาน ASTM E1845 อ่านค่าระดับตามขวางทุกๆ ระยะ 1 มม. ค่าระดับตามยาวทุกๆ 5 มม. ดัง **รูปที่ 19** คิดเป็นความละเอียด 200,000 จุดต่อตารางเมตร

รูปที่ 19 การตรวจสอบค่าความขรุขระ (IRI)

จากนั้นคำนวณค่า IRI เป็นรายช่องทาง ทุกๆ ระยะ 25 เมตร และความลึกร่องล้อเฉลี่ย ทุกๆ 25 เมตร เช่นกัน เกณฑ์ประเมินผลแบ่งเป็น 4 ระดับ ตามคู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทาง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ สำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง แสดงดัง**ตารางที่ 2** ผลการตรวจวัดพบว่า ค่าเฉลี่ย IRI ตลอดทั้งสายทางเท่ากับ 2.74 มม./ม. ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี สัดส่วนผิวทางคุณภาพดี 94.9%

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบค่า **IRI**

ค่า IRI (มม./เมตร)	ประเมิน	สัดส่วนผิวจราจร
0.00 - 2.50	ดีมาก	77.2%
2.51 - 3.50	ดี	17.7%
3.51 - 5.00	พอใช้	4.2%
มากกว่า 5.00	แย่	0.9%

เกณฑ์การประเมินความลึกร่องล้อและผลการตรวจสอบแสดงดัง**ตารางที่ 3** มีค่าเฉลี่ยร่องล้อ 5.11 มม. มีสัดส่วนผิวทางคุณภาพดี 99.52%

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบความลึกร่องล้อ

ร่องล้อ, มม.	ประเมิน	สัดส่วนผิวจราจร
น้อยกว่า 6.0	ดีมาก	71.9%
6.0 – 12.0	ดี	27.6%
12.0 – 25.0	พอใช้	0.46%
มากกว่า	แย่	0.02%

3.6 การตรวจวัดค่าความฝืด

ได้ทำการทดสอบความฝืดผิวทาง (Skid resistance) ด้วยเครื่องมือทดสอบแบบ Fixed Slip ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E247 แบบเปียก (Wet result) ใช้เครื่องทดสอบชนิดพ่วงลากยี่ห้อ ASFT รุ่น T-10 ดัง**รูปที่ 20** ตั้งค่า %Slip เท่ากับ 13% ให้มีความใกล้เคียงกับระบบเบรกรถยนต์ในปัจจุบัน การทดสอบใช้ความเร็ว 65 กม./ชม. ความหนาของน้ำเท่ากับ 1 มม. เก็บข้อมูลความฝืด (Friction) ทุกๆ 10 ม. รวมกับข้อมูลความหยาบเฉลี่ยของผิวทาง (Mean Texture Depth, MTD) ทุกๆ ระยะ 10 ม. (ได้จากการตรวจวัดค่าความขรุขระด้วย Laser Profilometer) คำนวณเป็นค่าความเสียดทานปรับแก้ที่ความเร็ว 60 กม./ชม. (FR60) จากนั้น คำนวณเป็นดัชนีความเสียดทานผิวทางสากล (International Friction Index, IFI) ตามมาตรฐาน ASTM E1960

รูปที่ 20 เครื่องมือทดสอบความฝืดชนิดพ่วงลาก

เกณฑ์ประเมินผลแบ่งเป็น 4 ระดับ ตามคู่มือแนะนำการตรวจสอบและการวางแผนบำรุงรักษาผิวทางให้มีความฝืดที่เหมาะสม สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง แสดงดัง**ตารางที่ 4** ผลการตรวจวัดพบว่า ค่าเฉลี่ย IFI ตลอดทั้งสายทางเท่ากับ 0.41 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี สัดส่วนผิวทางคุณภาพดี 95.5%

ตารางที่ 4 ผลการตรวจสอบความฝืด

ค่า IFI	ประเมิน	สัดส่วนผิวจราจร
น้อยกว่า 0.25	ผิวถนนลื่น	0.47%
0.25 – 0.35	ค่อนข้างลื่น	3.98%
0.35 – 0.45	ยึดเกาะค่อนข้างดี	27.8%
มากกว่า 0.45	ยึดเกาะดี	67.7%

4. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

เนื่องผิวทางก่อสร้างแล้วเสร็จ ตั้งแต่ปี 2537 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุแอสฟัลต์ในอดีตค้นหาไม่พบ จึงไม่สามารถเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ ได้โดยตรง จึงได้เปรียบเทียบกับ คุณสมบัติวัสดุของแอสฟัลต์คอนกรีต ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ที่ ทล.-ม. 408 และเกณฑ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง แสดงดัง**ตารางที่ 5**

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบผลการทดสอบ

คุณสมบัติวัสดุ	เกณฑ์	ช่วงผลการตรวจวัด	เฉลี่ย	การประเมิน
ความหนา, ซม	ประมาณ 5	5.7 - 6.5	6.00	ตามแบบ
ความหนาแน่น, กรัม/ลบ.ซม.	ประมาณ 2.4	2.11 - 2.47	2.324	ตามเกณฑ์
Air Void, %	3% - 5%	3.4 - 14.2%	6.8%	ตามเกณฑ์
Stability, ปอนด์	มากกว่า 1,800	3,881 - 4,795	4,301	สูงกว่าเกณฑ์
Flow, 0.01นิ้ว	8 - 16	12 - 13	12.6	ตามเกณฑ์
Stability / Flow	มากกว่า 160	313 - 381	352	สูงกว่าเกณฑ์
%แอสฟัลต์	3% - 7%	4.93 - 5.18%	5.05%	ตามเกณฑ์
คุณสมบัติผิวทาง	**เกณฑ์**	**เฉลี่ย**	**สัดส่วน**	**การประเมิน**
ความขรุขระ, มม./ม.	ไม่เกิน 3.50	2.74	94.9%	ผิวเรียบดี
ร่องล้อ, มม.	ไม่เกิน 12.0	5.11	99.5%	ผิวเรียบดี
สัมประสิทธิความฝืด	ไม่น้อยกว่า 0.35	0.41	99.5%	ยึดเกาะค่อนข้างดี

ถึงแม้ว่าผิวทางจะใช้งานมากว่า 26 ปี (ทดสอบที่ปี พ.ศ. 2563) ก้อนตัวอย่างที่เจาะออกมาไม่มีลักษณะเปื่อยยุ่ย แตกหักแยกชั้น ผิวทางมิได้ถูกบีบอีด แสดงจากความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่มิได้สูงกว่าปกติ ยืนยันด้วยผลการทดสอบปริมาณช่องว่างอากาศ ที่ผลทดสอบส่วนใหญ่อยู่ในช่วง

6-10% เฉลี่ย 6.8% สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ปริมาณแอสฟัลต์ยังคงอยู่ที่ 5% มิได้ถูกบีบหายไป ส่งผลให้ความสามารถในการรับกำลังยังคงดีอยู่ ด้วยค่า Stability และ Flow ที่สูงมากกว่าเกณฑ์ตามลำดับ

ด้วยกำลังวัสดุที่ยังคงมีสภาพดี ส่งผลให้คุณสมบัติการใช้งานยังคงใช้งานได้ดีตามไปด้วย การเสียรูปของผิวทาง ในรูปของคลื่นตามยาว (IRI) และคลื่นตามขวาง (ร่องล้อ) ยังเป็นไปตามเกณฑ์ทางมาตรฐานชั้นทางพิเศษ/ทางพิเศษระหว่างเมือง ค่าสัมประสิทธิความฝืด ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าความหยาบเฉลี่ยของผิวทาง (Mean Texture Depth, MTD) ซึ่งค่า MTD ที่ยังสูงส่งผลให้ ค่า IFI ยังคงอยู่ในระดับสูงเช่นกัน

อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ส่งผลต่อ การเสื่อมสภาพของความฝืดซึ่งเป็นปัจจัยจากอายุของผิวทาง, ปริมาณจราจรสะสม และปริมาณรถบรรทุกสะสม คำนวณตามสมการการเสื่อมสภาพค่าความฝืดของผิวทาง [6] ได้ผลลัพธ์ไม่สอดคล้องกันนัก อาจจะด้วยผิวทางยกระดับฯ ที่เป็นแอสฟัลต์ปูลาดบนพื้นทางคอนกรีตเสริมเหล็ก และด้วยปริมาณจราจรบนทางยกระดับที่ค่อนข้างน้อย (ประมาณ 10,000 เที่ยว/วัน/ช่องทาง) และมีปริมาณรถบรรทุกเพียง 2.8% ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพไม่มาก ทั้งในรูปของค่าความฝืด ค่าการเสียรูปทั้งค่า IRI และร่องล้อ ซึ่งหากมีการทดสอบค่าความฝืด ค่า IRI และร่องล้อบนทางยกระดับดอนเมืองอย่างต่อเนื่องเป็นประจำทุกปี ผนวกกับข้อมูลปริมาณจราจรซึ่งมีข้อมูลที่ชัดเจนเนื่องจากเป็นทางที่ต้องชำระค่าผ่านทาง จะสามารถสร้างความสัมพันธ์เพื่อใช้ประมาณการ กรณีการเสื่อมสภาพของผิวทางยกระดับดอนเมืองได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5. บทสรุป

การศึกษานี้ ได้ดำเนินการเจาะเก็บแท่งตัวอย่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตของทางยกระดับดอนเมือง จำนวน 197 ตัวอย่าง ทุกกิโลเมตรในทุกช่องจราจร และทางขึ้น-ลงจำนวน 24 ตำแหน่ง ทดสอบคุณสมบัติด้วยวิธี Marshall

สภาพก้อนตัวอย่างมีสภาพเนื้อวัสดุแน่นปรกติ มีส่วนประกอบและการยึดเกาะของมวลรวมดี ไม่พบรอยร้าวในแนวดิ่ง และการแยกตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นชั้นๆ พบเพียงลักษณะฟองอากาศขนาดเล็กกระจายอยู่บริเวณผิวแท่งตัวอย่าง มีความหนาใกล้เคียงกับแบบก่อสร้าง มีร้อยละของช่องว่างอากาศ ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ม. 408 มีค่า Stability และ Flow เป็นไปตามเกณฑ์ ร้อยละของแอสฟัลต์ปริมาณคงที่ที่ 5% ตลอดความยาวสายทาง ตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทดสอบยังมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนด

ค่าเฉลี่ย IRI ตลอดทั้งสายทางเท่ากับ 2.74 มม./ม. ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี สัดส่วนผิวทางคุณภาพดี 94.9% ความลึกร่องล้อมีค่าเฉลี่ยร่องล้อ 5.11 มม. มีสัดส่วนผิวทางคุณภาพดี 99.52% ค่าเฉลี่ย IFI ตลอดทั้งสายทางเท่ากับ 0.41 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี สัดส่วนผิวทางคุณภาพดี 95.5%

ผลการตรวจสอบและทดสอบพอสรุปได้ว่าวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตของทางยกระดับดอนเมือง แม้จะใช้งานมา 26 ปีแล้ว ยังมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์ปรกติ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ทางยกระดับดอนเมือง จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาด้านการบำรุงรักษาเพื่อยกระดับการบริการและความปลอดภัย และขอขอบคุณ บริษัท STS Engineering Consultants ที่ปฏิบัติงานด้วยความอุตสาหะและเป็นมืออาชีพ

เอกสารอ้างอิง

[1] จิรศักดิ์ วิศรุตมัย. (2008). ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายแบบร่องล้อกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและคุณลักษณะอื่นของผิวทางแบบยืดหยุ่นในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] กฤษณะ จันทรโชติ. (2015). การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตระหว่างวัสดุมวลรวมตามข้อกำหนดขอบบนและขอบล่างที่ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 และ PMA. *วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*.

[3] จตุรงค์ เจริญผล. (2012). พฤติกรรมของผิวทางที่ซ่อมแซมด้วยการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[4] อัคคพัฒน์ สว่างสุรีย์, ธนกฤต เผือกทอง. (2012). การศึกษาประเมินความแข็งแรงและอายุการใช้งานของถนนลาดยางภายหลังก่อสร้าง. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*.

[5] กรมทางหลวงชนบท. (2012). คู่มือการตรวจสอบและประเมินสภาพทาง.

[6] ภัทรพล สีดอกบวบ. (2020). การศึกษาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระกับค่าความฝืดผิวทาง และการศึกษาสมการการเสื่อมสภาพค่าความฝืดของผิวทางในสภาวการใช้งานจริง. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, (หน้า TRL05-1-10). ชลบุรี.

[7] ฐิติพงศ์ เสริมสุข, นันทวรรณ พิทักษ์พานิช เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร. (2020). การพิจารณาคัดเลือกวัสดุแอสฟัลต์เชื่อมประสานสำหรับงานผิวทางบนทางพิเศษ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, (หน้า TRL39-1-6). ชลบุรี.