ผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของวัสดุชั้นรองพื้นทางที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม

ภูริชัย แก้วมา[1] กรกฎ นุสิทธิ์[2] ณัฐนนท์ คุ้มครุฑ พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม สุริยาวุธ ประอ้าย พลปรีชา ชิดบุรี และ สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว[5]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก
[2] สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก
[3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่
[4] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา
[5] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร
**Corresponding author address: korakodn@nu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของวัสดุชั้นรองพื้นทางที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม โดยวัสดุผิวทางเก่าจะถูกผสมเข้ากับดินเม็ดละเอียดชนิด Low Plasticity Clay เพื่อให้มีขนาดคละเป็นไปมาตรฐานชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวง ทั้งหมด 4 อัตราส่วน ประกอบด้วยวัสดุที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมร้อยละ 95, 85, 75, และ 50 โดยน้ำหนัก นำส่วนผสมทั้งหมดมาทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานเพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสม นำส่วนผสมที่ทำการบดอัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสหนึ่งชุด และ 150 องศาเซลเซียสอีกหนึ่งชุด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างชุดดังกล่าวไปทดสอบเพื่อหาค่าซีบีอาร์ กำลังรับแรงอัดแกนเดียว และกำลังรับแรงดึงทางอ้อม นอกจากตัวอย่างชุดที่อบด้วยอุณหภูมิ 60 และ 150 องศาเซลเซียสแล้ว ตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการอบด้วยอุณหภูมิสูงอีกหนึ่งชุดจะถูกนำไปทดสอบประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน นำผลการทดสอบทั้งหมดมาประเมินเปรียบเทียบประสิทธิภาพอันเนื่องจากผลกระทบของอุณหภูมิและปริมาณของวัสดุผิวทางเก่า ผลการทดสอบพบว่าพฤติกรรมการรับแรงของวัสดุขึ้นอยู่กับความหนาแน่นแห้งสูงสุดของวัสดุมวลรวม และเมื่อส่วนผสมที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมได้ถูกอบที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นแล้วพฤติกรรมการรับแรงของวัสดุมวลรวมจะขึ้นอยู่กับปริมาณวัสดุผิวทางเก่าที่อยู่ในอัตราส่วนผสม ไม่ใช่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นแห้งเพียงอย่างเดียว ผลการทดสอบในงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียล ส่งผลให้ส่วนผสมระหว่างวัสดุผิวทางเก่าต่อดินเหนียวที่อัตราส่วน 75:25 และอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียล ที่อัตราส่วนผสม 75:25 ที่การทดสอบCBR วัสดุจะรับแรงได้มาก

คำสำคัญ: วัสดุผิวทางเก่า, ผลกระทบจากอุณหภูมิ, ชั้นรองพื้นทาง, ปริมาณผิวทางเก่า

This research investigates the effect of temperature on the performance of road subbase produced from recycled asphalt pavement (RAP). To prepare the RAP subbase, RAP was blended with low plasticity clay at 95%, 85%, 75% and 50% by dry weight. The optimum moisture contents of all mixtures were primarily determined based on the modified compaction test. Three groups of samples, with three replicates, were prepared by compacting the mixtures at optimum moisture content. Before the performance tests, two groups of samples were placed in the oven at 60 °C and 150 °C for 24 hours. Another group was left untouched at room temperature. Then, the California bearing ratio test, unconfined compressive strength test, and indirect tensile strength test were performed with the three groups of samples. The performance test results indicate that, without temperature effects, the strength of the RAP subbase is dependent on the compaction degree. On the other hand, with the increase in curing temperature, the strength of RAP subbase is highly influenced by the percentage of the RAP in the mixture not only the compaction degree. The results of this study concluded that a temperature of 60 °C resulted in a mixture of the RAP to the clay at a ratio of 75:25 and at a temperature of 150 °C at a mixture ratio of 75:25. CBR test the material will withstand a lot of strength.

Keywords: Recycle Asphalt Pavement Material, Temperature Effect, Subbase, Recycle Asphalt Pavement Volume

คำนำ

จากปริมาณผิวทางเก่าที่สะสมจากการขูดลอกผิวถนนเพิ่มมากขึ้นทุกปี ได้กลายเป็นปัญหาของหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน ผิวทางเก่าเป็นผิวทางแอลฟัลต์ที่เสื่อมสภาพแล้ว ถูกกัดหรือขุดทิ้งก่อนทำชั้นพื้นทางและผิวทางใหม่ ส่งผลให้มีปริมาณขยะผิวทางเก่าเพิ่มขึ้นมากทุกปี เมื่อทำการขุดลอกผิวทางออกจะมีส่วนผสมของยางมะตอยทำให้เกิดเป็นขยะมลพิษที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้ง ประเทศไทยมีอากาศที่ร้อน อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ซึ่งพบว่าอุณหภูมิสูงสุดในอากาศสูงถึง 42.7 องศาเซลเซียล และอุณหภูมิที่ผิวถนนสูงถึง 75 องศาเซลเซียล ซึ่งอุณหภูมิที่สูงจะส่งผลให้ผิวทางแอสฟัลต์เกิดความเสียหายรวดเร็วขึ้น [1,2]

ปัจจุบัน ประเทศไทยได้มีมาตรฐานในการใช้วัสดุผิวทางเก่านำกลับมาใช้ใหม่ [3] โดยใช้ทดแทนมวลรวมของแอสฟัลต์คอนกรีต การใช้ผิวทางแอสฟัลต์เก่าแทนมวลรวมหยาบจะช่วยสนับสนุนการใช้วัสดุรีไซเคิลในกระบวนการก่อสร้างทางและช่วยลดความต้องการใช้มวลรวมใหม่จากธรรมชาติลง [4] สำหรับการนำผิวทางเก่าไปใช้เป็นชั้นรองพื้นทาง งานวิจัยเก่าชี้ให้เห็นว่าปริมาณผิวทางเก่าที่มากกว่าร้อยละ 50 จะส่งผลให้วัสดุงานทางมีขนาดคละที่ไม่เหมาะสมและทำให้ความหนาแน่นแห้งของวัสดุลดลง [5,6,7] อย่างไรก็ดี งานวิจัยในอดีตแสดงให้เห็นว่าวัสดุผิวทางเก่าสามารถนำมาใช้แทนวัสดุธรรมชาติเพื่อเป็นส่วนผสมคอนกรีตได้ โดยที่ใช้แทนที่ทั้งหมดและบางส่วน คอนกรีตที่ใช้วัสดุผิวทางเก่าแทนมวลรวมหยาบ จะมีประสิทธิภาพในเรื่องความเหนียว สำหรับคอนกรีตที่มีวัสดุผิวทางเก่าผสมแทนวัสดุหินที่ได้จากธรรมชาติ จะมีกำลังอัดของคอนกรีตลดลงตามปริมาณของวัสดุผิวทางเก่าที่ใส่เข้าไป

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผิวทางเก่ามาใช้งานให้แพร่หลายขึ้นในประเทศไทย ที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของวัสดุชั้นรองพื้นทางที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม โดยการออกแบบส่วนผสมอัตราส่วนของมวลรวม ให้เป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวง มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม ทล. – ม. 205/2532 [8]

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 วัสดุผิวทางเก่า

งานวิจัยนี้ได้ใช้วัสดุผิวทางเก่าที่นำมาจากสายทางหลวงหมายเลข

รูปที่ ขนาดคละของดินเหนียว

2.3 การออกแบบส่วนผสม

ในการออกแบบส่วนผสมของงานวิจัยนี้ โดยจะใช้มาตรฐานกรมทางหลวง มาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม ทล.ม. 205/2532 โดยจะนำดินไปผสมกับวัสดุผิวทางเก่า โดยนำวัสดุทั้ง 2 อย่างไปทำการทดสอบหาขนาดคละแบบล้าง เพื่อทราบขนาดคละของแต่ละวัสดุ แล้วนำขนาดคละของแต่ละวัสดุมาผสมกัน โดยใช้วิธีการคำนวณ ในการคำนวณขนาดคละ

รูปที่ การทดสอบ Compaction Test

3.3 การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR)

การทดสอบนี้ทดสอบตามมาตรฐานกรมทางหลวง มาตรฐานการทดลองเพื่อหาค่า CBR ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล. -ท. 109/2517 โดยทำการบดอัดตัวอย่างมวลรวมที่ค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density) และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ของแต่ละอัตราส่วนผสม โดยควบคุมความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดและมีความชื้นที่เหมาะสม โดยทำการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ โดยใช้ Mold ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร สูง 177.8 มิลลิเมตร ค้อนหนัก 10 ปอนด์ ยกสูง 457.2 มิลลิเมตร ที่พลังงานการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง 1 ชุดการทดสอบต่อ1ส่วนผสม [10]



รูปที่ การทดสอบ CBR

3.4 การทดสอบกำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength : UCS)

การทดสอบนี้ทดสอบตามมาตรฐานของกรมทางหลวงการทดลองที่ ทล-ท. 105/2515 โดยทำการขึ้นก้อนตัวอย่างตามมาตรฐานการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน การทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 ที่ค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density) และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ของแต่ละอัตราส่วนผสม โดยมีขนาดของก้อนตัวอย่างเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) สูง 116.8 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ตัวอย่างต่อ1ส่วนผสม ทั้งหมด 54 ตัวอย่าง [11]



รูปที่ การทดสอบ UCS

3.5 การทดสอบแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength: IDT)

การทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อมก้อนตัวอย่างภายใต้มาตรฐาน ASTM D6931-2017 โดยตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มม.(4นิ้ว) สูงประมาณ 70 มิลลิเมตร โดยใช้วัสดุมวลรวมประมาณ 1200 กรัม ทำการบดอัด 3 ชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง ทำการบดอัดที่ค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density) และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ของแต่ละอัตราส่วนผสม โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ตัวอย่างต่อ1ส่วนผสม ทั้งหมด 54 ตัวอย่าง [12]



รูปที่ การทดสอบ IDT

3.6 ให้อุณหภูมิกับตัวอย่าง

นำตัวอย่างของวัสดุมวลรวมที่ขึ้นก้อนเสร็จแล้วได้แก่ CBR, UCS และ IDT เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60 และ 150 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พอครบ 24 ชั่วโมงนำตัวอย่างออกมาพักให้อุณหภูมิของตัวอย่างเย็นตัวลงที่อุณภูมิห้องแล้วทำการทดสอบ เพื่อดูผลกระทบของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อวัสดุมวลรวมที่มีวัสดุผิวทางเก่าผสมอยู่

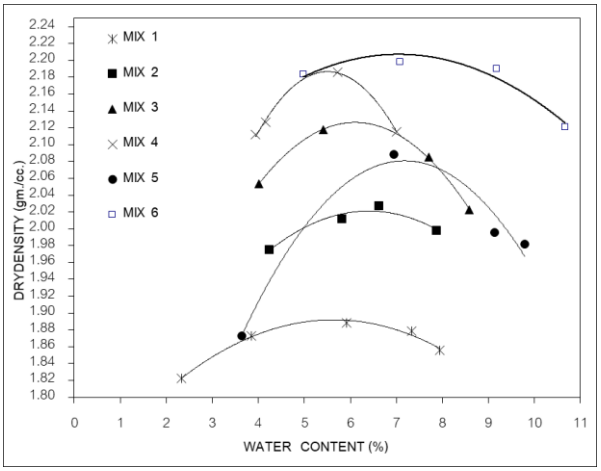


รูปที่ นำตัวอย่างเข้าตู้อบ

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

4.1 Compaction Test

การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานตามมาตรฐานกรมทางหลวง มาตรฐานที่ ทล.-ท. 108/2517 พบว่าดินมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าวัสดุผิวทางเก่าส่วนวัสดุผิวทางเก่าจะมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าดิน จากรูปที่ 9 แต่เมื่อนำวัสดุทั้งสองอย่างมาผสมกัน พบว่าเมื่อนำดินที่มีเม็ดละเอียดอยู่เยอะมาผสมกับวัสดุผิวทางเก่าทำให้วัสดุผิวทางเก่ามีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของดินที่ใส่เข้าไปโดยที่อยู่ในของเขตของขนาดคละมวลรวมมาตรฐานกรมทางหลวง มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม



รูปที่ ผลการทดสอบการบดอัดสูงกว่ามาตรฐานของวัสดุมวลรวม

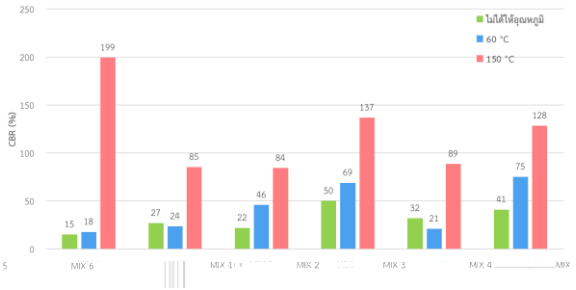
โดยในการทดสอบพบว่าค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density) และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ของแต่ละอัตราส่วนผสมเป็นดังตารางที่ 4

ตารางที่ ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงว่ามาตรฐาน

MIX1	100:0	1.89	5.7
MIX 2	95:5	2.02	6.5
MIX 3	85:15	2.13	6.2
MIX 4	75:25	2.19	5.5
MIX 5	50:50	2.08	7.2
MIX 6	0:100	2.21	7.0

4.2 California Bearing Ratio (CBR)

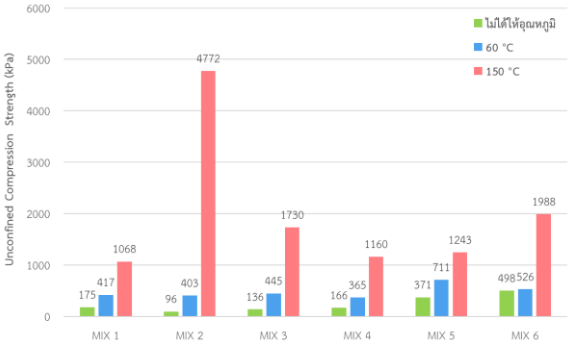
ผลการทดสอบหาค่า CBR แบบไม่แช่น้ำพบว่าวัสดุที่อยู่ในขอบเขตของขนาดคละมวลรวมตามมาตรฐานกรมทางหลวง มาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวมนั้น จะมีค่า CBR ที่สูงตามปริมาณของวัสดุผิวทางเก่าที่ลดลง เพราะว่าดินเหนียวเป็นดินที่มีเม็ดละเอียดเมื่อนำมาผสมกับวัสดุผิวทางเก่าแล้วจะทำให้มีความหนาแน่นแห้งสูงขึ้นเนื่องจากดินเม็ดละเอียดเข้าไปลดช่องว่างระหว่างมวลรวม ทำให้มีค่า CBR ที่สูงขึ้นในขอบเขตของขนาดคละชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวมของกรมทางหลวง และเมื่อนำวัสดุมวลรวมไปอบที่อุณหภูมิที่ 60 และ 150 องศาเซลเซียล พบว่าค่า CBR นั้นเพิ่มขึ้น จากตัวอย่างที่ไม่ให้อุณหภูมิ เนื่องจากวัสดุผิวทางเก่านั้นมีส่วนผสมของยางมะตอยอยู่ด้วย จึงทำให้ยางมะตอยนั้นละลายและเชื่อมมวลรวมเข้าด้วยกัน ส่งผลให้ค่า CBR มีค่าที่สูงขึ้น



รูปที่ ผลการทดสอบหาค่า CBR แบบไม่แช่น้ำ

4.3 Unconfined Compressive Strength : UCS

จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อปริมาณวัสดุผิวทางเก่าลงลดส่งผลให้กำลังรับแรงของวัสดุเพิ่มขึ้น ตามปริมาณดินเหนียวที่เพิ่มเข้าไป แต่เมื่อขนาดคละของวัสดุอยู่นอกเหนือขอบเขตของขนาดคละมวลรวมตามมาตรฐานกรมทางหลวง มาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวมของกรมทางหลวง จะส่งผลให้กำลังรับแรงของวัสดุลดลง และเมื่อนำวัสดุมวลรวมไปให้อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียล พบว่าวัสดุสามารถรับแรงได้เพิ่มขึ้น และยังสามารถรับแรงได้สูงขึ้น เมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียล เนื่องจากยางมะตอยที่อยู่ในวัสดุผิวทางเก่านั้น ละลายเชื่อมประมาณกับมวลรวม ทำให้วัสดุรับกำลังได้สูงขึ้นมาก และการที่ยางมะตอยละลายนั้นส่งผลให้ ช่องว่างในมวลรวมมีปริมาณที่น้อยลงอีกด้วย



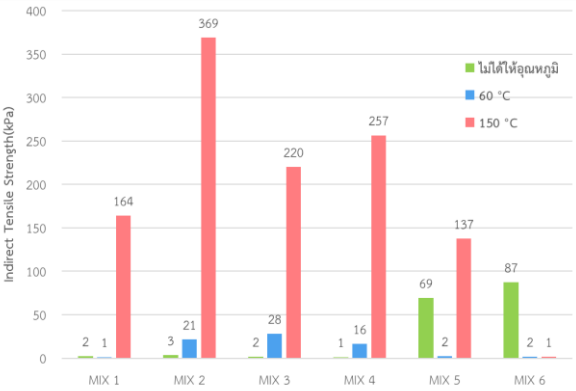
รูปที่ ผลการทดสอบ UCS



รูปที่ กล้อง Microscope

4.4 Indirect Tensile Strength: IDT

จากผลการทดสอบพบว่า ความสามารถในการรับแรงดึงทางอ้อมของวัสดุมวลรวม มีค่าค่อนข้างต่ำมาก เนื่องจากมีปริมาณมวลรวมละเอียดน้อย แต่เมื่อวัสดุมีมวลรวมละเอียดมากขึ้นจะทำให้สามารถรับแรงดึงทางอ้อมได้มากขึ้นเป็นผลมากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินของมวลรวมละเอียด แต่เมื่อวัสดุผิวทางเก่ามีอุณหภูมิเข้ามาโดยนำตัวอย่างวัสดุมวลรวมไปอบที่อุณหภูมิ 60 และ 150 องศาเซลเซียล พบว่า วัสดุมวลรวมสามารถรับแรงดึงทางอ้อมได้ เป็นผลมาจากการที่วัสดุผิวทางเก่านั้นมีส่วนประกอบของยางมะตอย เมื่อยางมะตอยได้รับความร้อนจะให้ยางมะตอยละลายแล้วเชื่อมประสานกับมวลรวม ทำให้ช่องว่างในมวลรวมน้อบลงและยังสามารถรับแรงดึงทางอ้อมได้

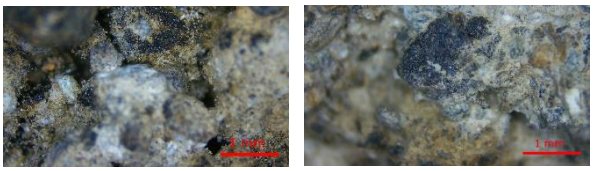


รูปที่ ผลการทดสอบ IDT

4.5 ภาพถ่าย Microscope

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผิวของวัสดุหลังจากทำการทดสอบ IDT เพื่อดูการเรียงตัวของวัสดุ อุณหภูมิที่ส่งผลให้ยางมะตอยละลาย และช่องว่างของวัสดุมวลรวม จากการทดสอบพบว่า เมื่อขนาดคละของวัสดุอยู่ในขอบเขตของมาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวมของกรมทางหลวง จะทำให้การจัดเรียงตัวของวัสดุเรียงชิดติดกัน และสม่ำเสมอ ส่งผลให้ช่องว่างของมวลรวมมีน้อย

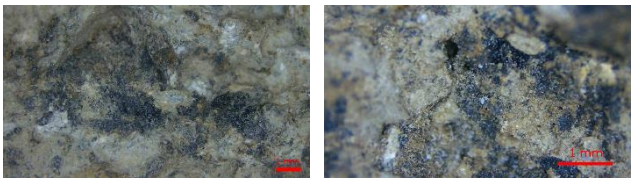
จากรูปที่ 14 ได้นำวัสดุที่ทำการทดสอบ IDT เรียบร้อยแล้ว นำมาส่องด้วยกล้อง Microscope ตามรูปที่ 13 ผลปรากฏว่าในอัตราส่วนที่มีปริมาณวัสดุผิวทางมาก คืออัตราส่วน 95:5 จะเห็นช่องว่างให้ผิวของวัสดุได้เยอะซึ่งสอดคล้องกับผลทดสอบ Compaction Test ซึ่งค่าความหนาแน่นแห้งของอัตราส่วน 95:5 มีค่าความหนาแน่นแห้งน้อยกว่าอัตราส่วน 75:5 เนื่องจากปริมาณดินเหนียวเข้าไปแทรกตัวอยู่ตามช่องว่างที่เกิดขึ้นของวัสดุผิวทางเก่า ทำให้อัตราส่วน 75:5 มีความหนาแน่นสูงขึ้นและปริมาณช่องว่างลดลง



(a) อัตราส่วน 95RAP:5CL (b) อัตราส่วน 75RAP:25CL

รูปที่ ผลภาพถ่ายจากกล้อง Microscope ของวัสดุที่ไม่ได้ให้อุณหภูมิ

ในการทดสอบตัวอย่างของวัสดุมวลรวมที่นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล หลังจากการทดสอบ IDT แล้ว นำตัวอย่างมาส่องภาพถ่ายจากกล้อง Microscope ผลปรากฏว่า จะมีการละลายของยางมะตอยที่อยู่ในวัสดุผิวทางเก่า ยางมะตอยบางส่วนจะเคลือบกับวัสดุมวรวม ทำให้ปริมาณช่องว่างลดลง เห็นได้จากรูปที่ 15



(a) อัตราส่วน 95RAP:5CL (b) อัตราส่วน 75RAP:25CL

รูปที่ ผลภาพถ่ายจากกล้อง Microscope ของวัสดุที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล

การทดสอบตัวอย่างของวัสดุมวลรวมที่นำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียล หลังจากการทดสอบ IDT แล้ว นำตัวอย่างมาส่องภาพถ่าย

จากกล้อง Microscope ผลปรากฏว่ายางมะตอยนั้นได้ละลายซึมเข้าไปตามมวลรวมของวัสดุ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากรูปที่ 16 และช่องว่างในมวลรวมยังลดลงอีกด้วย

(a) อัตราส่วน 95RAP:5CL (b) อัตราส่วน 75RAP:25CL

รูปที่ ผลภาพถ่ายจากกล้อง Microscope ของวัสดุที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียล

บทสรุป

จากการศึกษาการนำวัสดุผิวทางเก่ามาเป็นส่วนผสมของวัสดุที่จะนำมาใช้ในชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อพฤติกรรมของวัสดุ ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

1. ในการออกแบบอัตราส่วนผสมที่ใช้ขนาดคละของมวลรวมให้อยู่ในขอบเขตของมาตรฐานกรมทางหลวง ชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม จะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งของวัสดุมีค่าสูงสุด และสามารถ อบเ

[8] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง.,กรมทางหลวง. (2532). ทล.-ม.205/2532 มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม . กรุงเทพฯ

[9] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง.,กรมทางหลวง. (2517). ทล.-ท.108/2517 การทดลอง Compaction test แบบสูงกว่ามาตรฐาน . กรุงเทพฯ

[10] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง.,กรมทางหลวง. (2517). ทล.-ท.109/2517 การทดลองเพื่อหาค่า CRB . กรุงเทพฯ

[11] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง.,กรมทางหลวง. (2515). ทล.-ท.105/2515 การทดสอบกำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength Test . กรุงเทพฯ

[12] American Society for Testing and Materials (2017). ASTM D 6931. Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Asphalt Mixtures. ASTM International.