

ผลกระทบของอุณหภูมิต่อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิลผสมดินลูกรัง

Temperature effects on a mixture of recycled asphalt concrete pavement and lateral soil

ปิยะฉัตร ฉัตรตันใจ^{1*} วีรพร พงศ์ติณบุตร² ภาวิณี แคมวงศ์³ และ สุวิจักขณ์ เอ็มจิตต์⁴

^{1*,2,3,4}ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

E-mail: ^{1*}piyachatc@eng.buu.ac.th, ²weeraporn@buu.ac.th,

³gingpawinee@hotmail.com, ⁴suvijak.aimjit@gmail.com

บทคัดย่อ

ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าที่ถูกรีไซเคิลด้วยวิธีชุบไล่จนได้วัสดุที่เป็นเม็ดหยาบที่ร่วนซุยและยางมะตอยผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าที่ถูกรีไซเคิลนี้มักถูกนำมาใช้ผสมกับวัสดุอื่น ๆ เพื่อใช้กับงานโครงสร้างถนนหรือนำไปผ่านกระบวนการความร้อนอีกครั้งเพื่อกลับมาใช้เป็นพื้นทาง การเอาผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าที่ไม่มีการผสมวัสดุอื่นเข้าไปมาบดอัดเพื่อใช้เป็นวัสดุถมนั้นทำได้ยากเนื่องจากตัววัสดุไม่สามารถปรับโครงสร้างภายในเพื่อลดช่องว่างของอากาศลงระหว่างการบดอัด งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การนำเอาผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่ากลับมาใช้เป็นวัสดุถมทั่วไปที่ไม่มีผิวทางอยู่ด้านบน ดังนั้นผิวด้านบนจะได้รับความร้อนโดยตรงจากแสงอาทิตย์ จากผลการทดสอบพบว่า การนำเอาดินลูกรังมาผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสมนั้นจะช่วยพัฒนาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าที่ทดสอบในอุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังนำเสนอวิธีการได้มาซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุทั้งสองซึ่งจะพิจารณาทั้งในแง่ของกำลังและต้นทุนการก่อสร้าง

คำสำคัญ: ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า ดินลูกรัง ผลกระทบของอุณหภูมิ คุณสมบัติเชิงวิศวกรรม วัสดุถม

Abstract

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), widely used by mixing with other material for road structure material or Asphalt Hot – Mix Recycling, is the reuse of old asphalt concretes that

* Corresponding author, e-mail: piyachatc@eng.buu.ac.th

was removed by milling machines. RAP contains two elements of asphalt and aggregates that can't be used directly for road structure work without mixing or adding with another material due to it have no ability to densify by conventional compaction technique. This research focusses on how to use RAP as a backfill material without the pavement on the top of surface which the compacted material directly receives the solar heat. The results show that the appropriate mix proportion of laterite soil and RAP improves the engineering properties of RAP in both room and ambient temperature of 60 degrees. This research also presents the method to fine the appropriate mix proportion of both material in term of engineering properties and construction cost.

Keywords: Reclaimed asphalt pavement, Laterite soil, Temperature effect, Engineering properties, Backfill material

1. ที่มาและความสำคัญ

โดยทั่วไปผิวทางนั้นจะแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ ผิวทางแบบแรงแรงตัว (Rigid Pavement) โดยใช้คอนกรีตเป็นวัสดุและผิวทางแบบยืดหยุ่นหรืออ่อนตัว (Flexible Pavement) ซึ่งมักใช้แอสฟัลต์คอนกรีตเป็นวัสดุผิวทาง โดยทั่วไปโครงสร้างชั้นทางจะประกอบด้วย ชั้นพื้นทาง (Base) ซึ่งต้องมีค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ชั้นรองพื้นทาง (Subbase) ต้องมีค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ชั้นวัสดุคัดเลือกต้องมีค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 8-10 ชั้นพื้นฐานทาง (Subgrade) ต้องมีค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 โดยการทดสอบจะต้องทดสอบที่ร้อยละ 95 ของค่าความแน่นแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Density) [1], [2], [3] และ [4] ความแตกต่างที่สำคัญของพฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นทางด้านล่างและลักษณะของความเสียหายของผิวทางทั้งสองชนิดได้ถูกศึกษา โดย Mohod และ Kadam ในปี 2016 [5] ผิวทางแบบยืดหยุ่นหรืออ่อนตัว ความเค้นที่กระทำลงมาจากล้อ (Wheel Load Stresses) นั้นจะกระจายลงสู่ชั้นดินแบบเม็ดดินสู่เม็ดดินที่ติดกัน (Grain-to-Grain Transfer) ความเข้มของค่าความเค้นจะสูงที่สุดในบริเวณผิวสัมผัสและกระจายตัวออกไปตามความลึก นั้นจึงทำให้โครงสร้างชั้นทางของผิวทางประเภทนี้จำเป็นต้องมีหลายชั้นแต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมีความเข้มของค่าความเค้นที่ผิวสัมผัสมากจึงทำให้ผิวทางแบบยืดหยุ่นหรืออ่อนตัวมักจะประสบปัญหา ร่องล้อ (Rutting) ซึ่งถือว่าเป็นการเสียรูปแบบถาวร (Permanent Deformation) [6] นอกจากนั้นยังสามารถเกิดความเสียหายได้จากการแตกหักเนื่องจากความล้า (Fatigue) และอุณหภูมิ ส่วนผิวทางแบบแรงแรงตัวที่มีความแข็งแรงมากเพียงพอ การกระจายตัวของแรงเค้นที่กระทำลงมาจากล้อนั้นจะกระจายตัวในพื้นที่ที่มากกว่าผิวทางแบบยืดหยุ่น ทำให้ค่าความเข้มของแรงเค้นถ่ายลงสู่ชั้นทางน้อยกว่าผิวทางแบบยืดหยุ่นหรืออ่อนตัว ความเสียหายที่พบได้หลัก ๆ คือ การแตกหักเนื่องจากความล้า (Fatigue) ส่วนความ

เสียหายเนื่องจากอุณหภูมินั้นสามารถป้องกันได้จากการใส่เหล็กกันร้าวและมีรอยต่อเพื่อการขยายตัว (Expansion Joints) ที่เพียงพอ

จากสาเหตุที่กล่าวมาในตอนต้น ผิวทางแบบยืดหยุ่นมีโอกาสเสียหายได้ง่ายกว่าผิวทางแบบแรงแรงตัวทำให้ต้องมีการปรับปรุงผิวทางโดยการรื้อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าออก ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบันคือการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement Recycling) โดยการนำเอาวัสดุชั้นทางเดิมที่ได้จากการชุดไส (Milling Drum) ให้ร่วนมาปรับปรุงคุณภาพไม่ว่าจะเป็นขนาดคละ ความสามารถในการรับกำลัง หรือคุณสมบัติอื่น ๆ ตามข้อกำหนด ทั้งนี้จะใช้วิธีการเติมดินเข้าไปเพียงอย่างเดียวเพื่อปรับปรุงขนาดคละ หรือจะเติมวัสดุผสมเช่น ปูนซีเมนต์ ปูนขาว และเถ้าลอย เป็นต้น ลงไปเพื่อปรับปรุงกำลัง [7] ผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่นี้เรียกว่า Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) เพื่อลดต้นทุนค่าวัสดุในชั้นพื้นทางและยังเป็นการจัดการกับวัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์

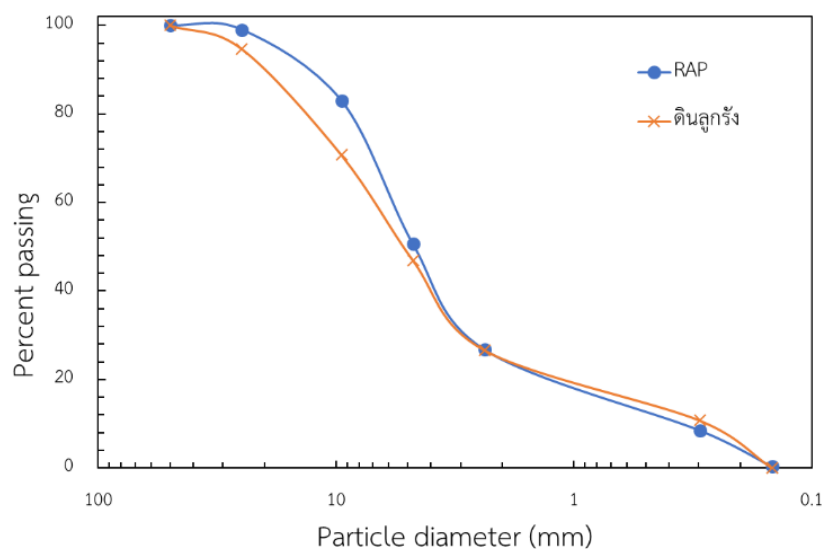
ประเทศไทยถือว่าตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น ดังนั้นผลกระทบของอุณหภูมิต่อการรับกำลังของวัสดุที่นำมาใช้ทำโครงสร้างถนนจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก พงศา ไวยากรณ์ และคณะ ในปี 2560 [8] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมทางกลของชั้นพื้นทางหินคลุกผสม RAP และซีเมนต์ โดยได้มีการตรวจวัดอุณหภูมิของชั้นทางที่ความลึกต่าง ๆ พบว่า ผิวทางจะมีจะมีอุณหภูมิสูงสุดถึง 57-65 องศาเซลเซียส ที่เวลาประมาณ 14:00 น. งานวิจัยนี้ต้องการนำ RAP ที่ปรับปรุงขนาดคละด้วยดินลูกรังเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการผสมปูนซีเมนต์เพื่อลดต้นทุนและง่ายต่อการใช้งานให้มากที่สุด วัสดุผสมที่ได้นั้นงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การนำมาใช้เป็นดินถมโดยตรงโดยไม่มีผิวทางด้านบน เช่น ลานจอดรถ หรือลานวางสินค้ากลางแจ้ง เป็นต้น ซึ่งโครงสร้างดินถมเหล่านี้ผิวของวัสดุจะรับความร้อนโดยตรง ดังนั้นการศึกษาจะเลือกใช้การเปรียบเทียบผลกระทบของอุณหภูมิระหว่างที่อุณหภูมิห้องกับอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส การบดอัดดินจะใช้แบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test) และการศึกษาการรับกำลังจะทดสอบด้วยการทดลอง California Bearing Ratio (CBR) แบบไม่แช่น้ำ

2. วิธีดำเนินงานวิจัยและขอบเขต

ดินลูกรังที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นดินลูกรังที่ได้มาจากบ่อยืมในจังหวัดชลบุรี จากการวิเคราะห์ขนาดคละด้วยตะแกรง (Sieve Analysis) แล้วนำผลที่ได้ไปจำแนกประเภทดินด้วยระบบ Unified Soil Classification System (USCS) พบว่า เป็นดินชนิด GP โดยมีทรายผสมมากถึง 46 เปอร์เซ็นต์ (Poorly Graded Gravel with Sand) เมื่อนำดินลูกรังนี้มาทดสอบค่าความแน่นแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Density) พบว่า ที่ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด (Maximum Dry Unit Weight) ที่ 18.75 kN/m³ และมีปริมาณความชื้นเหมาะสม (Optimum Water Content, OWC) เท่ากับ 7.3 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นจึงได้นำดินไปทดสอบค่า CBR ได้ผลการทดสอบที่ 44 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำผลการทดลองทั้งหมดมาพิจารณาตามข้อกำหนดของมาตรฐาน มทข.202-2545 พบว่า ดินลูกรังนี้สามารถนำมาใช้เป็นชั้นวัสดุรองพื้นทาง (Subbase) [8] และ [9] ชนิด ข และชนิด B สำหรับมาตรฐาน [3]

สำหรับ RAP ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากโครงการซ่อมแซมปรับปรุงพื้นผิวทางขับ (Taxiway) ทางขับเข้าสู่หลุมจอด (Taxilane) และหัวทางวิ่ง (Runway) สนามบินสุวรรณภูมิ จากการวิเคราะห์ขนาดละเอียดด้วยตะแกรง (Sieve Analysis) และนำไปเปรียบเทียบกับดินลูกรังที่นำมาใช้แสดงในรูปที่ 1 ผลที่ได้ไปจำแนกประเภทดินด้วยระบบ Unified Soil Classification System (USCS) พบว่า เป็นดินชนิด SP โดยมีกรวดผสมมากถึง 49 เปอร์เซ็นต์ (Poorly Graded Sand with Gravel) ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุที่มีขนาดเม็ดใหญ่และน้ำไม่สามารถซึมเข้าไปภายในเม็ดทรายและหินได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงไม่สามารถทดสอบเพื่อหาค่า OWC ได้ ดังนั้นในทุก ๆ การทดสอบที่ใช้ RAP นั้นหมายถึง RAP ที่ผ่านการตากแห้งในที่ร่มด้วยอุณหภูมิห้องอย่างน้อย 3 วันดังแสดงในรูปที่ 2

จากผลการทดสอบค่า CBR ตัว RAP ที่อุณหภูมิห้องนั้นมีค่าต่ำมากเพียง 6 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าหน่วยน้ำหนักขึ้นในอากาศ (Air-Dry Unit Weight) ที่ 17.31 kN/m^3 ซึ่งถือว่าอยู่ในสถานะแน่นปานกลาง (Medium Dense Sand) ถึงแม้ว่าจะผ่านการบดอัดมาแล้วก็ตาม นั้นหมายความว่า การบดอัดด้วยการกระแทกด้วยค้อนเป็นชั้น ๆ นั้นไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำให้เนื้อ RAP ที่งานวิจัยนี้ใช้แน่นได้



รูปที่ 1 ขนาดละเอียดของดินลูกรังและ RAP



รูปที่ 2 การนำ RAP มาผึ่งแห้งในอากาศแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว

จากการสังเกตการณ์การบดอัด พบว่า ตัวเม็ดหินและทรายเคลือบยางมะตอยแห้งนั้นขยับตัวน้อยมาก หลังการกระแทกของค้อนบดอัด ซึ่งพฤติกรรมแบบนี้ไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการบดอัดดินที่ต้องการส่งพลังงานทางกลลงไปเพื่อให้ดินเกิดการปรับโครงสร้างจัดเรียงตัวใหม่ให้แน่นขึ้นแล้วเอาอากาศภายในออกมา ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากที่ผิวโดยรอบของหินและทรายนั้นถูกเคลือบด้วยยางมะตอย (Asphalt Cement) แห้งซึ่งยังหลงเหลือความเป็นวัสดุเหนียว (Viscous Materials) และมีแรงยึดเกาะกัน ทำให้เวลาบดอัดด้วยวิธีการกระแทกซึ่งเป็นแรงกระทำทันทีทันใดนั้น ความเหนียวจะไปต้านแรงกระแทกทำให้พลังงานไม่สามารถส่งลงไปได้ด้านล่างได้ และการเกาะติดกันของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าซึ่งมีทั้งเกาะติดกันเองและเกาะติดที่ผนังก่อของโมลบดอัดจะไปขัดขวางการปรับโครงสร้างภายในไม่ให้เม็ดหินและทรายเกิดการเคลื่อนตัว ด้วยเหตุนี้การที่จะนำ RAP ไปใช้โดยไม่ผ่านกระบวนการความร้อนอีกครั้ง (Asphalt Hot – Mix Recycling) นั้นเป็นไปได้เว้นเสียแต่การชุบไล่จะได้เนื้อ RAP ที่มีขนาดคละดีหรือจะต้องทำการปรับปรุงขนาดคละให้ดีขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการง่ายและต้นทุนต่ำที่สุดคือการใส่ดินลูกรังเข้าไปเพื่อปรับปรุงขนาดคละ

3. การทดลองและผลการทดลอง

การทดสอบจะเริ่มจากการผสมวัสดุทั้งสองเข้าด้วยกันตามอัตราส่วนที่ต้องการ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมนั้นจะถูกกำหนดจากน้ำหนักแห้งของตัวดินลูกรังให้มีปริมาณน้ำเท่ากับค่า OWC เพียงอย่างเดียว ส่วน RAP จะมีความชื้นเริ่มต้นจากการทิ้งให้แห้งในอุณหภูมิห้องเนื่องจากไม่สามารถหาค่า OWC จากตัวอย่าง RAP ที่เก็บมาจากสนามได้เพราะเม็ดหินและทรายที่ได้ไม่มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำเลยและเมื่อนำ RAP ไปอบจะมีน้ำอย่างไหลออกมา

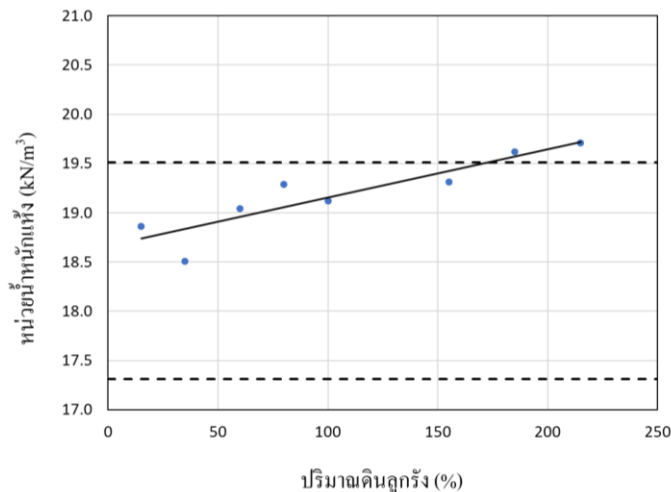
ขั้นตอนการผสมนั้นเริ่มจากการผสมดินลูกรังกับน้ำให้เข้ากันก่อนจึงเติม RAP ลงไปภายหลังกึ่งแสดงในรูปที่ 3 อัตราส่วนผสมจะคำนวณจากร้อยละของน้ำหนักดินลูกรังแห้งต่อน้ำหนัก RAP โดยจะเพิ่มปริมาณดินลูกรังเข้าไประหว่าง 15-215% ผลจากการทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำในดินหลังจากที่ผสมกันแล้วพบว่าวัสดุผสมจะมีค่าปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณดินลูกรังที่ผสมเข้าไป



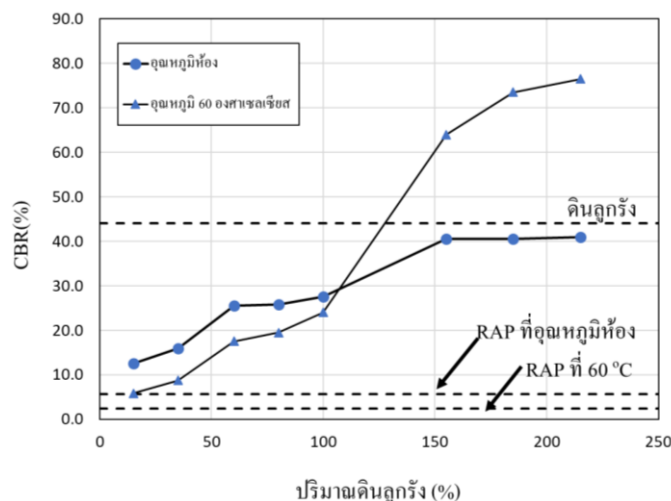
รูปที่ 3 การนำ RAP และดินลูกรังมาผสมให้เข้ากัน

จากผลทดสอบความหนาแน่นของวัสดุผสมหลังการบดอัด พบว่า วัสดุผสมมีค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง (Dry Unit Weight) เพิ่มขึ้นตามปริมาณดินลูกรังที่ผสมเข้าไปดังแสดงในรูปที่ 4 นั้นแสดงถึงการที่เอาดินลูกรังเข้าไปผสมใน RAP นอกจะเข้าไปอุดช่องว่างภายในของ RAP ยังช่วยให้เม็ดทรายและหินที่ถูกเคลือบด้วยยางมะตอยแห้งสามารถเคลื่อนตัวเพื่อปรับโครงสร้างภายในได้ดีขึ้นเมื่อได้รับพลังงานกลจากแรงกระทบ

การทดสอบประเมินคุณสมบัติในการรับกำลังของวัสดุผสมจะทำการทดสอบค่า CBR ซึ่งจะทำการทดสอบทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจะต้องเอาตัวอย่างที่ผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดแล้วบดอัดในโมลมาตรฐาน จากนั้นจึงนำตัวอย่างและโมลไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5 พบว่า ค่า CBR ของ RAP ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงอย่างมากเหลือเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดลงคิดเป็นกว่าร้อยละ 67 เมื่อเทียบกับค่า CBR ที่ทดสอบในอุณหภูมิห้องซึ่งมีค่าที่ 6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากตัวน้ำยางมะตอยเก่าที่เกาะที่ผิวของหินและทรายนั้นอ่อนตัวลงขณะที่โพรงอากาศภายในยังคงมีอยู่มากทำให้เกิดการยุบตัวได้ง่ายหลังจากรับแรงกระทำ ดังนั้นหากสามารถทำการบดอัด RAP ที่มีอุณหภูมิสูงได้ ก็จะสามารถทำให้เนื้อภายในนั้นแน่นขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามการนำ RAP ไปใช้โดยผ่านกระบวนการความร้อนนั้นผิดวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ซึ่งต้องการเน้นความง่ายสามารถทำงานด้วยเครื่องมือที่ใช้ในงานบดอัดดินพื้นฐานและประหยัดต้นทุนเมื่อนำไปใช้งาน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องความคุ้มค่าระหว่างการนำ RAP ไปใช้โดยตรงโดยผ่านความร้อนกับการนำไปใช้โดยการหาวัสดุมาผสมเพิ่มโดยไม่ผ่านความร้อน



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งกับปริมาณการผสมดินลูกรัง



รูปที่ 5 อิทธิพลของดินลูกรังที่ผสมกับ RAP ในการรับกำลังที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ตามมาตรฐานได้กำหนดค่า CBR ขั้นต่ำของวัสดุที่จะนำมาใช้กับงานถมคันทางประเภทดินทั่วไปไว้ที่ 4 เปอร์เซ็นต์ [8] และ [9] นั้นหมายความว่า หากนำเอา RAP บดอัดไปใช้กับงานดินถมทั่วไปโดยไม่มีผิวทางด้านบน เช่น ลานจอดกลางแจ้งนั้นจะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงที่ผิวด้านบนที่ต้องสัมผัสกับความร้อนจากแสงแดดโดยตรง เนื่องจากค่า CBR นั้นตกลงเป็นอย่างมากเมื่อสัมผัสความร้อน เมื่อเปรียบเทียบค่า CBR ระหว่างดินลูกรังกับ RAP ที่อุณหภูมิห้องจะพบว่ามีความแตกต่างกันเป็นอย่างมาก แต่เมื่อไปพิจารณาการกระจายตัวของขนาดผลในรูปที่ 1 จะพบว่าวัสดุทั้งสองมีขนาดผลและการกระจายตัวของขนาดผลที่ใกล้เคียงกันอย่างมากนั้นแสดงให้เห็นว่าการที่ค่า CBR ของ RAP มีค่าต่ำมากนั้นไม่ได้มีผลมาจากเรื่องของขนาดผลเป็นหลัก แต่เป็นผลมาจากไม่สามารถบดอัด RAP ที่อุณหภูมิห้องให้แน่นได้ตามเหตุผลที่กล่าวไว้แล้วในตอนต้น

ค่า CBR ของวัสดุผสมที่อุณหภูมิห้อง พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อเพิ่มปริมาณดินลูกรังเข้าไปจนถึงปริมาณร้อยละ 150 ของน้ำหนัก RAP ค่า CBR ของวัสดุผสมจะไม่เพิ่มขึ้นอีกถึงแม้จะเพิ่มปริมาณ

ดินลูกรังเข้าไปนั้น หมายถึงในช่วงแรก ๆ ดินลูกรังได้เข้าไปแทรกตัวภายในเนื้อ RAP ให้แน่นขึ้น โดยยังมีพฤติกรรมการรับแรงแบบวัสดุผสม แต่เมื่อผสมดินลูกรังเกินร้อยละ 150 ของน้ำหนัก RAP พฤติกรรมการรับแรงจะกลายเป็นตัวดินลูกรังเพียงอย่างเดียวโดย RAP มีหน้าที่เข้าเป็นแทรกภายในเพื่อเพิ่มปริมาตรเท่านั้น ดังนั้นหากพิจารณาว่า RAP เป็นวัสดุเหลือใช้ แต่ดินลูกรังนั้นเป็นวัสดุที่ต้องจัดหาโดยมีต้นทุน การนำเอา RAP เข้าไปผสมในดินลูกรังในปริมาณที่เหมาะสมนั้นมิได้เป็นการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรัง แต่เป็นการกำจัดวัสดุเหลือใช้และลดต้นทุนในการจัดซื้อและค่าขนส่งดินลูกรังลงได้ ซึ่งการเลือกอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดนั้นก็คือจุดที่กราฟมีการเปลี่ยนค่าความชันเป็นแบบเส้นตรงแนวนอนและค่า CBR ของวัสดุผสมมีค่าเท่ากับค่า CBR ของดินลูกรัง

ผลกระทบของอุณหภูมิต่อความสามารถในการรับกำลังนั้นแสดงในรูปที่ 5 พบว่า เมื่อผสมดินลูกรังเข้าไปใน RAP สามารถเพิ่มความสามารถในการรับกำลังเมื่อวัสดุผสมมีอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส โดยในช่วงต้นที่มีการผสมดินลูกรังน้อยกว่าร้อยละ 110 พฤติกรรมการรับแรงนั้นจะถูกควบคุมโดยพฤติกรรมของ RAP ซึ่งค่า CBR จะลดลงจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและผลจากการสูญเสียปริมาณน้ำในมวลดินลูกรังซึ่งทำให้ดินลูกรังแข็งขึ้นนั้นมีส่วนช่วยน้อยมาก แต่เมื่อผสมดินลูกรังมากกว่าร้อยละ 110 พฤติกรรมการรับแรงนั้นจะถูกควบคุมโดยพฤติกรรมของดินลูกรังซึ่งวัสดุผสมจะมีค่า CBR เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอันเนื่องมาจากค่าปริมาณน้ำในดินลดลง

4. สรุปผล

การนำเอาดินลูกรังเข้ามาผสมใน RAP ช่วยปรับปรุงความสามารถในการบดอัด ทำให้ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งและค่า CBR มีค่าเพิ่มขึ้น พฤติกรรมการเพิ่มขึ้นของค่า CBR ในวัสดุผสมเมื่อเพิ่มปริมาณดินลูกรังเข้าไปนั้นจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงแรก ๆ เท่านั้น และจะสิ้นสุดลงเมื่อค่า CBR ของวัสดุผสมเข้าสู่ค่า CBR ของดินลูกรังและจะไม่เพิ่มขึ้นอีก นั่นหมายถึงดินลูกรังสามารถปรับปรุงคุณภาพการรับกำลังของ RAP ได้แต่ก็ไม่เกินความสามารถในการรับกำลังของตัวดินลูกรังที่นำมาผสม ในทางกลับกัน RAP ไม่สามารถนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพการรับกำลังของดินลูกรังได้ ดังนั้นเมื่อนำวัสดุผสมนี้ไปใช้งานในส่วนผสมที่เหมาะสมจะเป็นเพียงการลดปริมาณของเหลือใช้จากการรื้อถอนผิวทางเก่าและการลดต้นทุนการก่อสร้างในโครงการใหม่เท่านั้น ไม่ใช่ประเด็นของการปรับปรุงคุณภาพดิน การหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในแง่ของกำลังและต้นทุนนั้นสามารถหาได้จากจุดที่ค่า CBR ของวัสดุผสมเข้าสู่ค่า CBR ของดินลูกรังซึ่งในการศึกษานี้ พบว่า เกิดขึ้นเมื่อผสมปริมาณดินลูกรังเข้าไปที่ร้อยละ 150 ของน้ำหนัก RAP ส่วนผลกระทบของอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียสส่งผลให้ RAP มีค่า CBR ลดลงอย่างมากจนไม่สามารถนำมาใช้งานดินถมทั่วไปได้ การผสมดินลูกรังเข้าไปทำให้มีค่า CBR สูงขึ้นโดยสามารถแบ่งเป็นสองช่วง คือ เมื่อผสมดินลูกรังน้อยกว่าร้อยละ 110 ค่า CBR จะลดลงเมื่อเทียบกับการทดสอบที่อุณหภูมิห้องเนื่องจาก RAP มีกำลังลดลง แต่เมื่อผสมลูกรังในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ค่า CBR สูงขึ้นเมื่อเทียบกับการทดสอบที่อุณหภูมิห้องเนื่องจากการสูญเสียน้ำในมวลดินของดินลูกรัง

เมื่อพิจารณาเฉพาะค่า CBR ตามมาตรฐานงานถนน สามารถนำวัสดุผสมที่อัตราส่วนเหมาะสมไปใช้กับชั้นรองพื้นทาง (Subbase) ได้ซึ่งเพียงพอกับการนำไปใช้เป็นวัสดุถมงานทั่วไป

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเมื่อนำ RAP ไปผสมกับดินชนิดอื่นที่มีค่า CBR แตกต่างกัน

5.2 ความสามารถในการบดอัดของ RAP ในแต่ละแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะต้องมีการทดสอบคุณสมบัติในการรับกำลังทุกครั้งเมื่อต้องการนำ RAP ไปใช้งาน

5.3 ถึงแม้ว่าวัสดุผสมที่ผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสมตามคำแนะนำในการศึกษานี้จะให้ผลที่ดีในด้านการรับกำลังทั้งในอุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แต่การนำไปใช้งานกับงานดินถมทั่วไปโดยไม่มีผิวทางด้านบน เช่น ลานจอดรถกลางแจ้งนั้น วัสดุผสมจะต้องสัมผัสกับน้ำโดยตรง ดังนั้นจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านการรับกำลังเมื่อแช่ในน้ำ การบวมตัว และที่สำคัญ คือ เมื่อเกิดการไหลของน้ำผ่านตัววัสดุผสมจะทำให้อัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้เปลี่ยนไปหรือไม่ซึ่งมันส่งกระทบอย่างมากต่อความสามารถในการรับกำลัง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย. (2557). มาตรฐานงานทาง.
- [2] กรมทางหลวง. (2544). มาตรฐานที่ ทล.-ม.201/2544. มาตรฐานพื้นทางหินคลุก.
- [3] กรมทางหลวง. (2532). มาตรฐานที่ ทล.-ม. 205/2532. มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม.
- [4] กรมทางหลวง. (2532). มาตรฐานที่ ทล.-ม. 208/2532. มาตรฐานวัสดุคัดเลือก ก.
- [5] Mohod, M. V. and Kadam, K. N. (2016). A comparative study on rigid and flexible pavement: A review. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 13(3), 84-88.
- [6] Arvo Tinni. (2013). Introduction to Concrete Pavements ii, Introduction to Concrete Pavements, EestiBetooniühing.
- [7] กรมทางหลวง. (2543). มาตรฐานที่ ทล.-ม.213/2543. การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement Recycling).
- [8] พงศา ไวยากรณ, จิระยุทธ สืบสุข, อนิรุทธิ สุขแสน, อัครเดช ศิริพันธ์ และ หวังแก้ว บุญสวน. (2560). การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและพฤติกรรมทางกลของชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ที่ได้จากกระบวนการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ภายใต้การใช้งานในภูมิภาคเขตร้อน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 22.
- [9] กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2557). มาตรฐานที่ มยผ. 2102/57. มาตรฐานวัสดุรองพื้นทาง (Subbase).
- [10] กรมทางหลวงชนบท. (2545). มาตรฐานที่ มทข.202-2545. มาตรฐานวัสดุรองพื้นทาง (Subbase)