

การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุรองพื้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าเป็นส่วนผสม

THE STUDY OF PROPERTIES OF ROAD SUBBASE MATERIAL PRODUCED FROM RECYCLED ASPHALT PAVEMENT

ขวัญชัย เทศฉาย, บำรุง บัวชื่น*

Kwanchai Thetchai, Bumrung Buachuen *

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา-ตาก อ.เมือง จ.ตาก ประเทศไทย 63000

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Muang, Tak, Thailand, 63000

*Corresponding author e-mail: bumrung@rmutl.ac.th

วันที่เข้ารับ 4 มิถุนายน 2567

วันที่แก้ไขบทความ 12 พฤศจิกายน 2567

วันที่ตอบรับบทความ 12 พฤศจิกายน 2567

บทคัดย่อ

ชั้นรองพื้นทางเป็นชั้นโครงสร้างของถนนที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักของยานพาหนะบนชั้นผิวทางลงมายังชั้นโครงสร้างทางอื่น ๆ ดังนั้นวัสดุที่จะนำมาก่อสร้างชั้นรองพื้นทางจึงต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีและมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ตามมาตรฐานงานถนน งานวิจัยนี้นำเสนอการนำวัสดุผิวทางเก่าที่เหลือจากการขุดไสผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) จากโครงการก่อสร้างถนนทางหลวงหมายเลข 101 สายทางกำแพงเพชร-สุโขทัย ตอนแยก อ.ลานกระบือ-อ.คีรีมาศ จ.กำแพงเพชร กม. 33+000 - กม. 36+010 โดยผสมกับดินลูกรังจากแหล่ง อ.พรานกระต่าย จ.กำแพงเพชร เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง ผู้วิจัยทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ และได้แบ่งตัวอย่างอัตราส่วนผสม ดินลูกรัง : แอสฟัลต์คอนกรีตเก่า เท่ากับ 1:1, 2:1 และ 3:1 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติการบดอัด (Compaction test) แบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified compaction) และการทดสอบหาค่าซีบีอาร์ (CBR) แบบแช่น้ำ (Soaked) ที่ 4 วัน พบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการบดอัดวัสดุผิวทางดินลูกรังกับแอสฟัลต์คอนกรีตเก่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 4.0, 6.0 และ 7.6 ตามลำดับ สำหรับกำลังรับน้ำหนักของดินที่ได้จากการทดสอบหาค่าซีบีอาร์ (CBR) มีค่าเท่ากับร้อยละ 9.5, 28.4 และ 40.7 ซึ่งอัตราส่วนผสมที่ 2:1 และ 3:1 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของชั้นรองพื้นทางของถนน ดังนั้นการนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่ามาหมุนเวียนใช้งานเป็นวัสดุคัดเลือกทดแทนในอุตสาหกรรมงานก่อสร้างทาง จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหาการขาดแคลนวัสดุงานทางในอนาคต

คำสำคัญ: วัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า, ดินลูกรัง, ชั้นรองพื้นทาง

Abstract

The subbase is a structural road layer that transfers vehicle loads from the road surface to other structural layers. Therefore, materials used for constructing the subbase must exhibit good engineering properties and sufficient load-bearing capacity, in line with road construction standards. This research explores the utilization of reclaimed asphalt pavement (RAP) obtained by crushing old asphalt concrete from Highway No. 101 (Kamphaeng Phet-Sukhothai route, section from Lan Krabue to Khiri Mat, Kamphaeng Phet province, Km 33+000 - Km 36+010). RAP mixed with lateritic soil from Phran Kratai district, Kamphaeng Phet province, was used as subbase material. The study involved testing the basic properties of the mixtures, with sample ratios of lateritic soil to RAP at 1:1, 2:1, and 3:1 by weight. Tests were conducted to determine compaction properties using the modified compaction test and to measure the California Bearing Ratio (C.B.R) under soaked conditions for four days. The results indicated that the optimal water content for compacting the lateritic soil mixed with RAP was 4.0%, 6.0%, and 7.6%, respectively. The corresponding C.B.R values for the load-bearing capacity of the mixtures were 9.5%, 28.4%, and 40.7%. Notably, the mix ratios of 2:1 and 3:1 met the standard criteria for subbase courses in road construction. Thus, recycling old asphalt concrete materials is an alternative replacement material, helping resolve the issue of future shortages of road construction materials.

Keywords: Reclaimed asphalt pavement material, Laterite soil, Subbase course

1. บทนำ

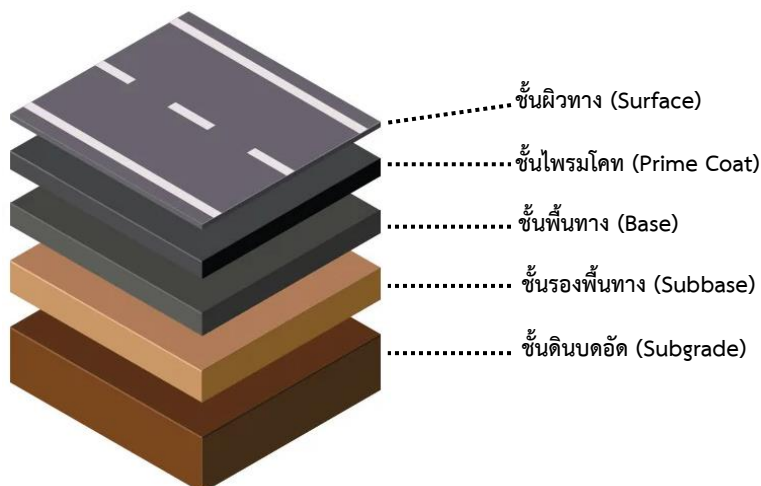
สถานการณ์ด้านอุตสาหกรรมงานก่อสร้างในประเทศไทยเริ่มประสบปัญหาด้านการขาดแคลนวัสดุสำหรับงานก่อสร้าง เนื่องจากวัสดุจากแหล่งธรรมชาติผลิตได้อย่างจำกัดและมีราคาสูง ซึ่งสวนทางกับความต้องการในอุตสาหกรรมงานก่อสร้างของประเทศที่มีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มมากขึ้น ปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบเป็นวงกว้างต่องานก่อสร้างประเภทต่างๆ โดยเฉพาะงานถนนที่มีระยะทางรวมกว่า 701,847.118 กิโลเมตร (กระทรวงคมนาคม, 2019) ซึ่งหากมีโครงการก่อสร้างหรือโครงการบำรุงรักษาถนนในแต่ละพื้นที่ จะมีความต้องการใช้วัสดุมวลรวมประเภทต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ปัจจุบันจึงมีการคัดเลือกวัสดุทดแทนวัสดุมวลรวมธรรมชาติ ผ่านเทคนิคการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรม เพื่อแก้ไขปัญหาด้านการขาดแคลนวัสดุและพัฒนาคุณสมบัติให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน

งานทางสำหรับการใช้ในงานถนน วัสดุคัดเลือกทดแทนที่นิยมนำมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติสำหรับงานถนน ได้แก่ แอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (Reclaimed asphalt pavement, RAP) ซึ่งเป็นวัสดุชั้นผิวทาง (Wearing course) ของถนน ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (Reclaimed asphalt pavement, RAP)

ถนนในประเทศไทยนิยมก่อสร้างมี 2 ประเภท ได้แก่ ถนนคอนกรีต (Concrete) เป็นถนนที่มีผิวทางแบบแข็ง (Rigid pavement) และถนนแอสฟัลต์คอนกรีตหรือถนนลาดยาง (Asphalt concrete) เป็นถนนที่มีผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible pavement) พบว่าถนนแอสฟัลต์คอนกรีตมีมากที่สุดในโครงข่ายของถนนทั่วประเทศ เนื่องจากมีข้อดีในเรื่องของราคาต้นทุนการก่อสร้างต่ำและบำรุงรักษาง่าย แต่ข้อเสียคือเกิดความเสียหายง่ายและมีอายุการใช้งานต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีการซ่อมแซมและบำรุงรักษาตามสภาพความเสียหายเป็นประจำ โครงสร้างของถนนแอสฟัลต์คอนกรีตมีทั้งหมด 5 ชั้น ได้แก่ 1. ชั้นดินบดอัด (Subgrade) เป็นชั้นดินเดิมที่มีอยู่ในพื้นที่และต้องทำการบดอัดเพื่อความแข็งแรง 2. ชั้นรองพื้นทาง (Subbase) เป็นชั้นโครงสร้างทางที่ต้องพิจารณาใช้วัสดุคัดเลือกตามเกณฑ์มาตรฐานงานทาง เนื่องจากมีหน้าที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกทุกของชั้นโครงสร้างต่างๆที่อยู่เหนือขึ้นไป รวมไปถึงการป้องกันน้ำซึมผ่านขึ้นมาจากชั้นดินเดิม วัสดุที่ถูกคัดเลือกในชั้นนี้จะนำมาบดอัดให้ได้รูปร่างรวมถึงความหนาที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งวัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นดินลูกรัง หินบด และกรวด 3. ชั้นพื้นทาง (Base) เป็นชั้นที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกทุกจากชั้นผิวทางจึงต้องมีคุณสมบัติในการรับแรงที่ดี 4. ชั้นไพรมโคท (Prime coat) เป็นชั้นที่มีหน้าที่ยึดระหว่างชั้นผิวทางและชั้นรองพื้นทาง 5. ชั้นผิวทาง (Surface) เป็นชั้นที่มีหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกจากยานพาหนะโดยตรงทำให้ต้องมีความแข็งแรง ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ชั้นโครงสร้างของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

(ที่มา: จาก <https://falconsurfacing.co.uk/typical-tarmac-surfacing-application>)

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการนำวัสดุดินลูกรัง จากแหล่ง อ.พรานกระต่าย จ.กำแพงเพชร มาออกแบบอัตราส่วนผสมกับกับแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (Reclaimed asphalt pavement, RAP) ที่ได้จากการขุดไสผิวทางของโครงการก่อสร้างถนนทางหลวงหมายเลข 101 สายทางกำแพงเพชร-สุโขทัย ตอนแยก อ.ลานกระบือ-อ.ศรีมาศ จ.กำแพงเพชร กม. 33+000 - กม. 36+010 เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่ามาหมุนเวียนและนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์โดยเป็นวัสดุคัดเลือกทดแทนวัสดุทางธรรมชาติสำหรับชั้นรองพื้นทางของถนน ซึ่งจะช่วยลดปริมาณวัสดุ ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และช่วยประหยัดงบประมาณในการก่อสร้างงานทางถนน และมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของวัสดุงานถนนของกรมทางหลวง

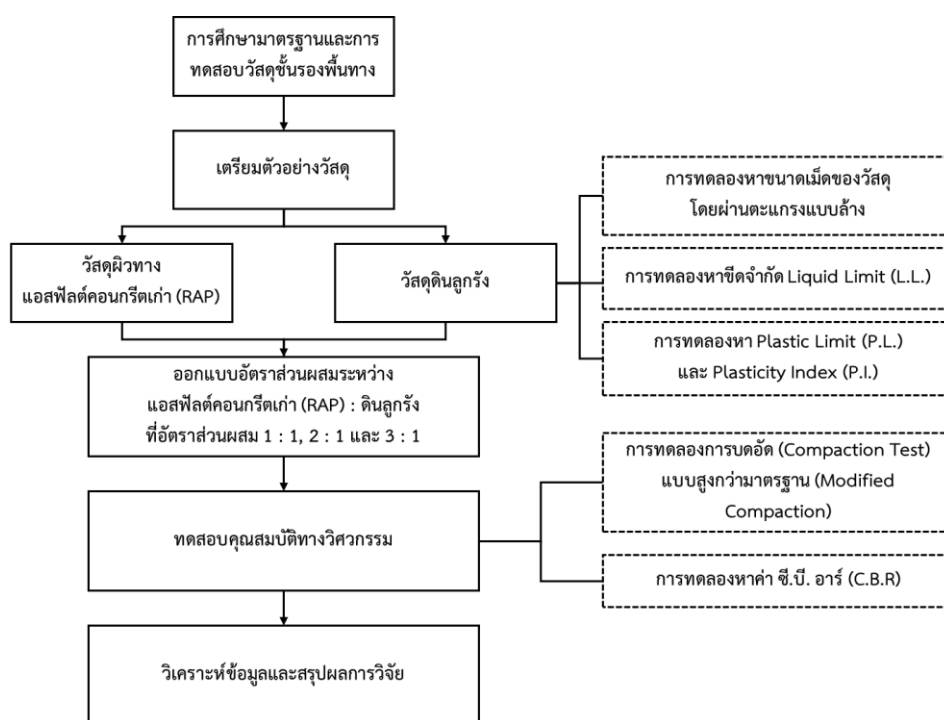
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างดินลูกรังกับแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) สำหรับนำมาใช้ในการก่อสร้างเป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง (Subbase) ของถนน

2.2 เพื่อทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติการบดอัด (Compaction test) แบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified compaction) และการทดสอบหาค่าซีบีอาร์ (CBR) ของดินลูกรังกับแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุชั้นรองพื้นทาง (Subbase) ที่ได้จากการออกแบบอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) จากกระบวนการชุบไสผิวทางของโครงการก่อสร้างถนนทางหลวงหมายเลข 101 กม. 33+000 - กม. 36+010 สายทางกำแพงเพชร-สุโขทัย ตอนแยก อ.ลานกระบือ-อ.ศรีมาศ จ.กำแพงเพชร กับดินลูกรังจากแหล่ง อ.พรานกระต่าย จ.กำแพงเพชร ดำเนินงานตามมาตรฐานของกรมทางหลวง มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวมที่ ทล.-ม. 205/2532 โดยเน้นศึกษาคุณสมบัติด้านการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมจากการทดสอบการบดอัดด้วยวิธีการทดลอง Compaction Test ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 และการหาคุณสมบัติด้านกำลังรับน้ำหนักของวัสดุ ด้วยวิธีการทดลองเพื่อหาค่า C.B.R ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.ท. 109/2517 โดยแสดงขั้นตอนการศึกษาในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 แอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (Reclaimed asphalt pavement, RAP)

วัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (Reclaimed asphalt pavement, RAP) ที่ได้จากการขุดไถผิวทางของโครงการก่อสร้างถนนทางหลวงหมายเลข 101 กม. 33+000 - กม. 36+010 สายทางกำแพงเพชร-สุโขทัย ตอนแยก อ.ลานกระบือ-อ.คีรีมาศ จ.กำแพงเพชร



ภาพที่ 4 การเก็บตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP)

3.1.2 ดินลูกรัง

ดินลูกรัง จากแหล่งหน้าสำรวจ 2786-3787 อ.พรานกระต่าย จ.กำแพงเพชร



ภาพที่ 5 ดินลูกรัง

3.2 วิธีการทดสอบ

3.2.1 เตรียมตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) มาคัดแยกสิ่งเจือปนหรือเศษวัชพืชออกด้วยการล้างน้ำและตากผึ่งแดดให้แห้ง



ภาพที่ 6 การเตรียมตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP)

3.2.2 เตรียมตัวอย่างดินลูกรัง โดยการคัดแยกเศษวัชพืชและสิ่งเจอปนออก จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมดังต่อไปนี้

(1) หาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล. -ท. 205/2517

(2) ประเมินหาขีดความชันเหลวของดิน (Atterberg's limit) ด้วยการทดสอบหาค่าขีดจำกัด Liquid limit (L.L.) ตามมาตรฐานการทดสอบที่ ทล. -ท. 102/2515 และการทดสอบหาค่า Plasticity Index (P.I.) ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล. -ท. 103/2515



ภาพที่ 7 การทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินลูกรัง

3.2.3 เมื่อทดสอบคุณสมบัติของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าและดินลูกรังเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลมาทำการออกแบบส่วนผสมระหว่าง แอสฟัลต์คอนกรีตเก่า : ดินลูกรัง ที่อัตราส่วนผสม 1 : 1, 2 : 1 และ 3 : 1

3.2.4 ทำการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่ากับดินลูกรัง ตามอัตราส่วนผสมที่ได้ออกแบบ ด้วยการทดสอบการบดอัด (Compaction test) แบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified compaction) ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล. -ท. 108/2517



ภาพที่ 8 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

3.2.5 เมื่อได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับอัตราส่วนผสมที่ออกแบบแล้ว ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพกำลังรับน้ำหนักของวัสดุ ด้วยมาตรฐานการทดลองหาค่า CBR แบบแช่น้ำ (Soaked) จากมาตรฐานการทดลอง ทล. -ท. 109/2517



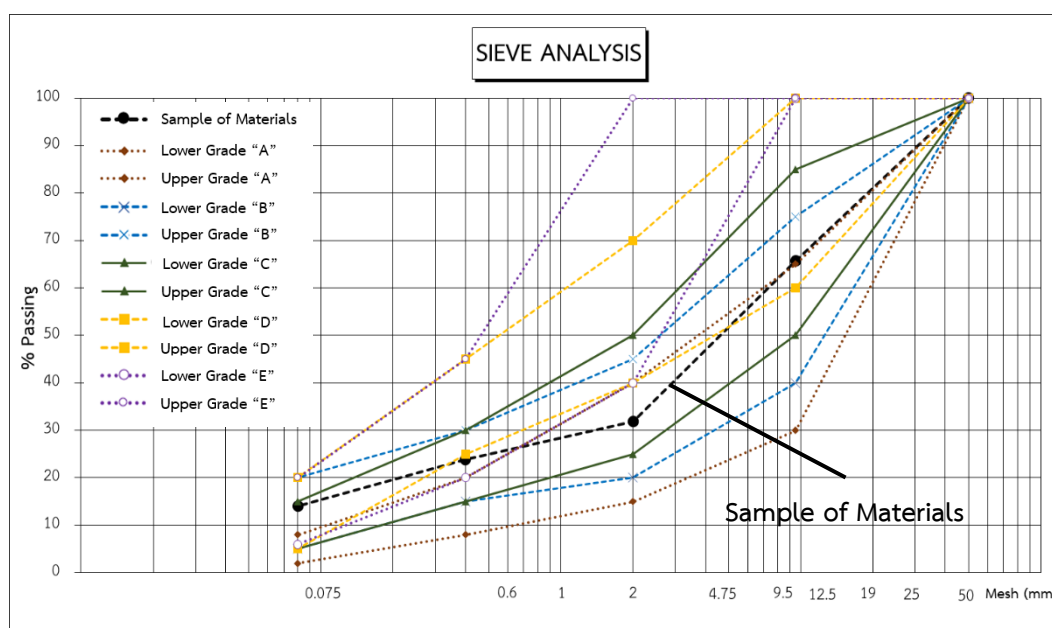
ภาพที่ 9 การทดลองหาค่า CBR แบบแช่น้ำ (Soaked)

4. ผลการวิจัย

จากการเก็บข้อมูลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) กับดินลูกรัง สำหรับชั้นรองพื้นทาง สามารถวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติทางวิศวกรรม ดังนี้

4.1 ขนาดคละของดินลูกรัง

จากการทดสอบหาขนาดคละของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล่าง ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517 พบว่าขนาดคละของดินลูกรังจากแหล่งจังหวัดกำแพงเพชร จัดอยู่ในกลุ่ม “B” ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานวัสดุรองพื้นทาง (Subbase) ของกรมทางหลวง ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ขนาดคละของดินลูกรังจากแหล่งจังหวัดกำแพงเพชร

4.2 การประเมินค่าพิกัดขีดความชื้นเหลวของดิน (Atterberg's limit)

จากการเก็บข้อมูลการทดสอบหาขีดจำกัดเหลว Liquid limit (L.L.) ตามมาตรฐาน ทล. -ท. 102/2515 และการทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก Plastic limit (P.L) และ Plasticity Index (P.I) ตามมาตรฐานที่ ทล. -ท. 103/2515 พบว่าคุณสมบัติของดินลูกรังมีค่า Liquid limit (L.L.) เท่ากับ ร้อยละ 30.00 Plastic limit (P.L) มีค่าเท่ากับร้อยละ 21.50 และ Plasticity index (P.I) มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 8.60

4.3 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับดินลูกรังกับแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP)

จากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ทล. -ท. 108/2517 เป็นการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมระหว่างดินลูกรัง กับแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) สำหรับวัสดุชั้นรองพื้นทาง พบว่าที่ อัตราส่วนผสมระหว่างดินลูกรัง : แอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) ที่อัตราส่วนผสม 1 : 1 ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.215 กก./ลบ.ม. มีปริมาณน้ำร้อยละ 4.0 อัตราส่วนผสม 2 : 1 ค่า

ความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.261 กก./ลบ.ม. ปริมาณน้ำร้อยละ 6.0 และอัตราส่วนผสม 3 : 1 ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.191 กก./ลบ.ม. ปริมาณน้ำร้อยละ 7.6

4.4 การทดสอบหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินลูกรังกับวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP)

จากการทดสอบหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินลูกรังกับวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) ตามมาตรฐานการทดสอบที่ ทล. -ท. 109/2517 ซึ่งเป็นการทดสอบหาค่าซีบีอาร์ (CBR) แบบแช่น้ำ (Soaked) ที่ 4 วัน พบว่า ที่อัตราส่วนร้อยละ 1 : 1, 2 : 1 และ 3 : 1 มีค่าร้อยละ 9.5, 28.4 และ 40.7 ตามลำดับ โดยพบว่าการแทนที่ด้วยแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) ในอัตราส่วนร้อยละ 2 : 1 และ 3 : 1 ให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของวัสดุผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การศึกษาคุณสมบัติของอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) กับดินลูกรัง เป็นการนำเอาวัสดุเก่าจากอุตสาหกรรมงานก่อสร้างถนนมาใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง ปริมาณความต้องการน้ำที่เหมาะสมลดลงเมื่อแทนที่ด้วยแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) ในปริมาณที่มากขึ้น ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเมื่อใช้อัตราส่วนผสมที่ร้อยละ 2 : 1 และมีค่ากำลังรับน้ำหนักที่ร้อยละ 28.4 หากเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์คอนกรีตเก่ามากขึ้นที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 3 : 1 พบว่าค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดลดลง แต่กำลังรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นที่ร้อยละ 40.7 ซึ่งทั้งสองอัตราส่วนผสมมีค่ากำลังรับน้ำหนักผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดให้ค่า CBR มากกว่าร้อยละ 25 สามารถใช้เป็นวัสดุทางเลือกในการก่อสร้างถนนในชั้นรองพื้นทางได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ในด้านวิศวกรรมกรรมทาง

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณนายภาณุพงศ์ เลี้ยงอ้วน นายมังกร แก้วพงศ์ และนายสุเทพ สุนแก้ว และสำนักงานทางหลวงที่ 4 จังหวัดตาก

7. เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวง. (2515). ทล. -ท. 102/2515 วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน
กรมทางหลวง. (2515). ทล. -ท. 103/2515 วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit (P.L.) และ
Plasticity Index (P.I.) ของดิน
กรมทางหลวง. (2517). ทล. -ท. 108/2517 วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่า
มาตรฐาน

- กรมทางหลวง. (2517). **ทล. -ท. 109/2517** วิธีการทดลองเพื่อหาค่า C.B.R
- กรมทางหลวง. (2517). **ทล. -ท. 205/2517** วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง
- กรมทางหลวง. (2532). **ทล. -ม. 205/2532** มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุรวม
- จิรายุทธ สืบสุขและคณะ (2559). **กำลังอัดแกนเดียวและโครงสร้างจุลภาคของดินลูกรังเกือบตกชั้นคุณภาพปรับปรุงด้วยผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลและซีเมนต์**, ศูนย์วิจัยเพื่อความก้าวหน้าด้านวิศวกรรมโยธาและวัสดุก่อสร้าง, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณ.
- นิรชร นกแก้ว และ ดำรง ปาละกุล (2559). **สมบัติทางกายภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์เมื่อใช้ปริมาณวัสดุชั้นผิวทางเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่ต่างกัน**.วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 11(1), 28-37.
- Dinis-Almeida, M., Castro-Gomes, J., Sangiorgi, C., Zoorob, S., & Afonso, M. (2016). **Performance of Warm Mix Recyled Asphalt containing up to 100 % RAP. Construction and Building Materials**, 112, 1-6.
- Izaks, R., Haritonovs, V., Klasa, I., & Zaumanis, M. (2015). **Hot Mix Asphalt with High RAP Content**. Procedia Engineering, 114, 676-684.
- Pawar, R., Patted, A., & Gowdabs, K. (2017, March). **Recycling of Bituminous Pavement by RAP Method**. Mangalore Institute of Technology & Engineering (ICGCSC-2017), Moodbidri, INDIA.
- Lertcuntapak, S. (2013). **Compressive strength of reclaimed asphalt pavement stabilized with cement** (Thesis), Suranaree University of Technology, Nakorn Ratchasima.
- Muthu, L.S., Geetha, S., & Selvakumar, M. (2021). **Predicting soaked C.B.R. of SC subgrade from dry denxity for light and heavy compaction**, **Materials Today: Proceedings**, 2021, 45(2), 1664-1670.