การใช้แอสฟัลต์คอนกรีตเก่าผสมกับหินคลุกและซีเมนต์ในงานก่อสร้างถนน

The use of reclaimed asphalt pavement by mixed with crushed rock and cement in road construction

สราวุธ จริตงาม[1,*] โอภาส สมใจนึก[2] และ พิษณุ ช่วยเวช[3]

[1,3] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา

[2]สำนักงานทางหลวงที่ 18 จ.สงขลา

**Corresponding author; E-mail address: jaritngam@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาคุณสมบัติและอัตราส่วนที่เหมาะสมของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าต่อซีเมนต์ที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (UCS) เพื่อทดแทนหินคลุก โดยกำหนดสัดส่วนตัวอย่างทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าต่อหินคลุกในสัดส่วนผสมร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 ของน้ำหนักรวม มาทำการทดสอบเพื่อหาค่าของกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (UCS) จากผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (UCS) จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) และอัตราส่วนของ RAP ที่ร้อยละ 10 ของน้ำหนักรวมจะมีค่าของ UCS มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับหินคลุกสองตัวอย่างที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่างกัน พบว่าค่า UCS ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหินคลุก จากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำแอสฟัลต์คอนกรีตเก่ามาใช้เป็นวัสดุทางเลือกในการก่อสร้างหรือปรับปรุงถนนได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ในแง่ของวิศวกรรมการทาง ซึ่งผ่านตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงที่ชั้นพื้นทางหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ที่กำหนดให้ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวต้องไม่น้อยกว่า 24.50 ksc ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

คำสำคัญ: แอสฟัลต์คอนกรีตเก่า, กำลังรับแรงอัดแกนเดียว, หินคลุก, งานก่อสร้างถนน

Abstract

This paper presents the appropriate properties and ratios of reclaimed asphalt pavement (RAP) to cement that affects the unconfined compressive strength (UCS) to replace crushed rock. Determining the proportion of test samples RAP per crushed rock in mixed proportions 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% and 70% of the total weight, by testing to determine the unconfined compressive strength (USC). The results showed that unconfined compressive strength (UCS) decreased with the addition of reclaimed asphalt pavement (RAP) and the ratio of RAP at 10% of total weight has the maximum UCS. When compared with the two crushed rock samples with different engineering properties, it was found that the UCS depended on the properties of crushed rock. Studies have shown that it is possible to use RAP as an alternative material for road construction or improvement. Which is useful in terms of engineering which passed according to the requirements of the Department of Highways on the pavement layer mixed with cement that the value of compressive strength shall not be less than 24.50 ksc at a curing period of 7 days.

Keywords: Reclaimed asphalt pavement (RAP), unconfined compressive strength, crushed rock, road construction

1. คำนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการก่อสร้างถนนต่างๆ โดยก่อสร้างขึ้นมาใหม่และมีการปรับปรุงถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตตามความต้องการใช้ท้องถนนจากปริมาณรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีการเปิดใช้งานไประยะหนึ่งมักจะเกิดความเสียหาย เนื่องจากการรับน้ำหนักของยานพาหนะ การเสื่อมสภาพเองของวัสดุ หรือการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ เช่น การหลุดร่อน การเกิดร่องล้อและเกิดรอยแตกแบบต่างๆ ถ้าไม่มีการซ่อมแซม บำรุงรักษา ถนนจะเกิดความเสียหายมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบด้านการสัญจรแก่ผู้ใช้ถนน และเพิ่มค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมที่มากขึ้น ในกรณีที่ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เสื่อมสภาพจะถูกรื้อและนำมาทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ ปัจจุบันผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิลได้รับความนิยมนำกลับมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมสำหรับงานก่อสร้างทาง เนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่าวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ [1, 2] อย่างไรก็ตามคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจำเป็นต้องได้การปรับปรุงเพื่อให้ได้ตามข้อกำหนดของแต่ละหน่วยงานที่กำหนด มีความพยายามที่จะใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิล (RAP) มาผสมกับวัสดุมวลรวมที่ได้จากธรรมชาติสำหรับการใช้งานในชั้นพื้นทางและชั้นรองพื้นทางในงานก่อสร้างถนน [2] บ่อยครั้งที่คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผสมนั้นยังไม่ถึงข้อกำหนดของหน่วยงานที่ต้องการ จากปัญหาดังกล่าวทำให้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ในงานทำถนนแล้วที่เสื่อมสภาพ โดยนำวัสดุมวลรวมหยาบจากชั้นผิวทาง

แอสฟัลต์คอนกรีตมารีไซเคิลแล้วกลับมาใช้ในชั้นพื้นทางโดยผ่านกระบวนการผสมซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุทางวิศวกรรม การพัฒนาวัสดุดังกล่าวลดต้นทุนค่าใช้จ่ายการก่อสร้างถนนชั้นพื้นทางและยังพัฒนาคุณสมบัติบางประการของถนนแอสฟัลต์คอนกรีตให้ดีขึ้น สามารถเพิ่มระยะเวลาในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ยาวนานขึ้น และทำให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น [3, 4, 5, 6, 7, 8]

จากเหตุผลข้างต้นผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะปรับปรุงคุณภาพและอัตราส่วนผสมโดยการนำแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าผสมกับหินคลุกและซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่ เพื่อให้ได้มีคุณภาพและอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะทำให้ชั้นพื้นทางมีความแข็งแรง คงทนและมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

2. วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของวัสดุ การเตรียมตัวอย่างทดสอบ เครื่องมือในการทดสอบ อัตราส่วนผสมและทำการทดสอบและเปรียบเทียบผลที่ได้ตามรายละเอียดดังนี้

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 แอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP)

แอสฟัลต์คอนกรีตเก่า ที่ใช้ในการศึกษาได้เก็บมาจากการขูดไส (Milling) ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ กม. 33+600-กม.34+200 LT ทางหลวงหมายเลข 43 ช่วงทางแยกควนมีด – ทางแยกจะนะ จังหวัดสงขลา ซึ่งมี Stock Pile อยู่ที่ทางแยกควนมีด ซึ่งแอสฟัลต์คอนกรีตเก่ามีลักษณะที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 1 การเตรียมตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า เพื่อใช้ในการทดสอบใช้สภาพของตัวอย่างที่ผึ่งแห้ง (Air Dry) เมื่อแห้งแล้วจึงใช้ค้อนยางทุบบดให้ได้อนุภาคของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าผ่านตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 1 ตัวอย่างที่แอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) ที่ใช้ทดสอบ

2.2 หินคลุก (Crushed Rock)

หินคลุกที่ใช้ในการศึกษาได้เก็บมาจากโรงโม่หิน 2 แหล่ง ดังนี้

2.2.1 โรงโม่หินศิลาอุตสาหกรรม (CR1)

สถานที่ตั้งอยู่ที่ กม.23+819 ขวาทาง 750 เมตร ถนนทางหลวงหมายเลข 409 ช่วงทางแยกนาเกตุ – ยะลา จังหวัดยะลา โดยสถานที่เก็บตัวอย่างที่โรงโม่หินศิลาอุตสาหกรรม ซึ่งหินคลุกมีลักษณะเป็นหินปูนที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2 การเตรียมตัวอย่างหินคลุกเพื่อใช้ในการทดสอบใช้สภาพของตัวอย่างที่ผึ่งแห้ง (Air Dry)



รูปที่ 2 ลักษณะของหินคลุก (CR1)

2.2.2 โรงโม่หินเหมืองแร่ลิวง (CR2)

สถานที่ตั้งอยู่ที่กม. 212+000 ซ้ายทาง 11,050 เมตร ทางหลวงหมายเลข 408 ช่วงทุ่งหวัง – นาทวี จังหวัดสงขลา ซึ่งหินคลุกมีลักษณะเป็นหินแกรนิตที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3 การเตรียมตัวอย่างหินคลุกเพื่อใช้ในการทดสอบใช้สภาพของตัวอย่างที่ผึ่งแห้ง (Air Dry)



รูปที่ 3 ลักษณะของหินคลุกโรงโม่หินเหมืองแร่ลิวง (CR2)

2.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland Cement type 1) ตามมาตรฐานของ มอก.15 เล่ม 1-2547 แสดงดังรูปที่ 4 โดยใช้ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักรวม



รูปที่ 4 ลักษณะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในการศึกษา

3. วิธีการทดสอบที่ใช้ในการศึกษา

วิธีการทดสอบที่ใช้ในการศึกษา สามารถแบ่งออกเป็นส่วนๆได้ดังนี้

3.1.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าตามมาตรฐาน ASTM D 854 ซึ่งตัวอย่างที่ใช้มีสภาพความชื้นตามธรรมชาติ และแสดงค่าที่ได้ออกมาจากการเฉลี่ยค่าที่ได้จากการทดสอบ

3.1.2 การทดสอบหาขนาดของเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง (Grain Size Analysis Testing) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 422

3.1.3 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)

3.1.4 การทดสอบหา CBR Test ของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า

3.1.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength)

วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียว ทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM D 2166 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบเป็นตัวอย่างที่เตรียมขึ้นมาใหม่โดยใช้ค่าปริมาณความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) และค่าของความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density, MDD) ที่ได้จากผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test) มาทำการบดอัดตัวอย่างลงในแบบหล่อ (Mold) วงแหวน 3 ชั้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ความสูงของแบบหล่อเมื่อวางซ้อนกันทั้ง 3 ชั้นเท่ากับ 4.584 นิ้ว ด้วยการใช้เครื่องอัดไฮดรอลิค (Hydraulic) โดยให้มีความหนาแน่นแห้งเท่ากับร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด เตรียมตัวอย่างตามอัตราส่วนที่ได้กำหนดไว้ที่อายุการบ่ม 7 วัน อัตราส่วนผสมละ 7 ตัวอย่าง เมื่อบดอัดเสร็จแล้วดันตัวอย่างออกจากแบบหล่อให้นำมาใส่ถุงพลาสติกรัดปากถุงให้แน่นบ่มที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 5 เพื่อไม่ให้ความชื้นเปลี่ยนแปลง 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง แล้วทดสอบ UCS ทันที

การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (USC) ซึ่งใช้ทดสอบกับวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าผสม (RAP) กับหินคลุก (CR1 และ CR2) และใช้ปูนซีเมนต์ผสมในอัตราส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักรวม และใช้อัตราส่วนของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าได้แก่ร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 ของน้ำหนักรวมตามลำดับ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 การบ่มตัวอย่าง



รูปที่ 6 การทดสอบ UCS

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า

ลักษณะโดยทั่วไปของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าเป็นสีเทาเข้มปนน้ำตาลมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.483 และได้ทำการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าที่ใช้ในการทดสอบมีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity, Cu) = 5.61 และมีค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัว (Coefficient of Gradation, Cc) = 0.90 ขนาดเฉลี่ยของเม็ดดิน (D_{50}) มีขนาดประมาณ 3.62 mm และปริมาณของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (0.075 mm) ร้อยละ 1.70 ซึ่งแบ่งประเภทโดยวิธี Unified Soil Classification System จัดอยู่ในประเภท GP

ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ค่าของความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density, MDD) และค่าปริมาณความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) มีค่าเท่ากับ 2.093 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและร้อยละ 8.20 ตามลำดับ

ผลการทดสอบเพื่อหาค่า CBR ของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) ใช้การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานผลการทดสอบมีค่า CBR เท่ากับ 25.20%

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของหินคลุก CR1

ลักษณะโดยทั่วไปของหินคลุก CR1 เป็นหินปูนมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.714 และได้ทำการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของตัวอย่างหินคลุก CR1 ที่ใช้ในการทดสอบมีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity, Cu) = 76.67 และมีค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัว(Coefficient of Gradation, Cc) = 5.04 ขนาดเฉลี่ยของเม็ดดิน (D_{50}) มีขนาดประมาณ 7.95 mm มีปริมาณของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (0.075 mm) ร้อยละ7.80 ซึ่งแบ่งประเภทโดยวิธี Unified Soil Classification System จัดอยู่ในประเภท GW

ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ค่าของความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density, MDD) และค่าปริมาณความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ของหินคลุก CR1 มีค่าเท่ากับ 2.326 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและร้อยละ 4.40 ตามลาดับ

ผลการทดสอบเพื่อหาค่า CBR ของหินคลุก CR1 ที่ใช้ในการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานผลการทดสอบมีค่า CBR เท่ากับ 98.60% ซึ่งมีค่าสูงกว่า

จากมาตรฐานของกรมทางหลวงกำหนดให้ชั้นพื้นทางมีค่า CBR ไม่ต่ำกว่า 80%

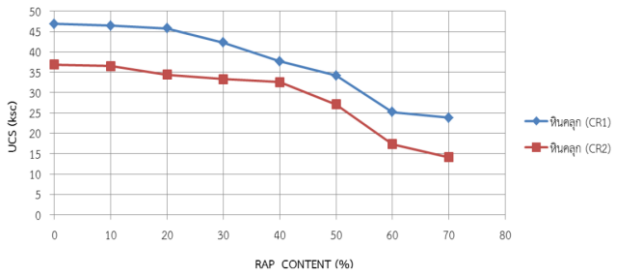
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของหินคลุก CR2

ลักษณะโดยทั่วไปของหินคลุก CR2 เป็นหินแกรนิตมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.714 และได้ทาการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของตัวอย่างหินคลุก CR2 ที่ใช้ในการทดสอบมีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity, Cu) = 50.00 และมีค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัว (Coefficient of Gradation, Cc) = 1.98 ขนาดเฉลี่ยของเม็ดดิน (D_{50}) มีขนาดประมาณ 4.75 mm มีปริมาณของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (0.075 mm) ร้อยละ 5.50 ซึ่งแบ่งประเภทโดยวิธี Unified Soil Classification System จัดอยู่ในประเภท GP

ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ค่าของความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density, MDD) และค่าปริมาณความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ของหินคลุก CR1 มีค่าเท่ากับ 2.174 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและร้อยละ 6.60 ตามลำดับ

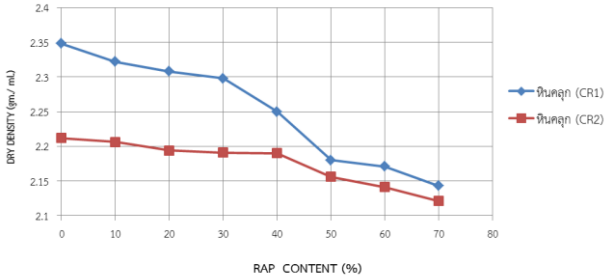
ผลการทดสอบเพื่อหาค่า CBR ของหินคลุก CR2 ใช้ในการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานผลการทดสอบมีค่า CBR เท่ากับ 98.40% มีค่าสูงกว่าจากมาตรฐานของกรมทางหลวงกำหนดให้พื้นทางมีค่า CBR ไม่ต่ำกว่า 80%

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength Test) จากผลการทดสอบค่า UCS ของหินคลุก CR1 และหินคลุกโรงโม่หิน CR2 ที่อายุบ่ม 7 วัน มีค่าผลการทดสอบ UCS จะมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อเพิ่มปริมาณของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) เข้าไปแทนที่ และค่าผลการทดสอบ UCS ของหินคลุก CR1 จะมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหินคลุก CR2 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของวัสดุหินคลุกแต่ละแหล่งผลิต มีผลต่อค่า UCS ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่า UCS ของหินคลุก

นอกจากนี้จากผลการทดสอบจะพบว่าค่าความหนาแน่นแห้งของหินคลุกจะมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อเพิ่มปริมาณของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) เข้าไปแทนที่ ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, UCS) ของหินคลุกด้วย และค่าของความหนาแน่นแห้งของหินคลุก CR1 จะมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหินคลุก CR2 ที่อายุการบ่ม 7 วัน ดังรูปที่ 8 ทั้งนี้เนื่องจากยางในแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า (RAP) จะมีคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานมากกว่าและส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดจะลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าเข้าไปแทนที่ [9]



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าของความหนาแน่นแห้งของหินคลุก

5. บทสรุป

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวัสดุผสมโดยใช้แอสฟัลต์คอนกรีตเก่าผสมกับหินคลุกและปริมาณปูนซีเมนต์ผสมในอัตราส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักรวม ค่าของผลทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียว (USC) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหินคลุกแต่ละแห่งและการใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าที่เพิ่มเข้าไปแทนที่ ซึ่งจากผลการศึกษาจะพบว่าผลการทดสอบค่า UCS ของหินคลุกทั้ง 2 แหล่งผลิต ที่ใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมของแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าเพิ่มเข้าไปจะมีค่า UCS ที่มากกว่า 24.5 ksc สามารถใช้เป็นวัสดุทางเลือกในการก่อสร้างหรือปรับปรุงถนนได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ในแง่ของวิศวกรรมการทาง ซึ่งผ่านตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงที่ชั้นพื้นทางหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ ที่กำหนดให้ค่าของกำลังอัดต้องไม่น้อยกว่า 24.50 ksc ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน [1] จากผลการทดสอบพบว่าหินคลุกที่มีคุณภาพดีสามารถผสมกับแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าที่ได้การรื้อผิวทางเก่าได้ปริมาณที่มากกว่า

ดังนั้นการนำแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าที่ได้การรื้อผิวทางเก่าเพื่อนำมาใช้ใหม่ผสมกับหินคลุกและซีเมนต์มาปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้ได้คุณภาพและอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยมีการทดสอบเพื่อหาค่า UCS มาเปรียบเทียบกับการใช้หินคลุก สามารถนำใช้เป็นชั้นพื้นทางที่มีความแข็งแรง คงทนและมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นตรงตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง

เอกสารอ้างอิง

[1] ทล-ม. 203/2556 (2558). มาตรฐานพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์. กรมทางหลวง, ประเทศไทย.

[2] จิระยุทธ สืบสุขและคณะ (2016). กำลังอัดแกนเดียวและโครงสร้างจุลภาคของดินลูกรังเกือบตกชั้นคุณภาพปรับปรุงด้วยผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลและซีเมนต์, ศูนย์วิจัยเพื่อความก้าวหน้าด้านวิศวกรรมโยธาและวัสดุก่อสร้าง, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

[3] ธงชัย รุ่งเรือง (2556). *การปรับปรุงคุณภาพวัสดุหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมด้วยปูนซีเมนต์*, โครงงานมหาบัณฑิตการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[4] พนมและคณะ (2556). ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพชั้นพื้นทางที่เป็นหินคลุก หินคลุกผสมวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าและวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าด้วยปูนซีเมนต์, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[5] ชาคริต อนันต์มั่งคั่ง (2548). *การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้วยปูนซีเมนต์เพื่อใช้สำหรับพื้นทาง,* ปัญหาพิเศษปริญญาโท, ภาควิชาครุศาสตร์โยธา, บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[6] ศรากร หนูเอก (2548). *การปรับปรุงวัสดุพื้นทางหินคลุกด้วยซีเมนต์*. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, ภาควิชาครุศาสตร์โยธา, บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[7] อาวุธ โพธิ์อุดม (2553). การศึกษาประเมินความแข็งแรงของวัสดุผิวทางเดิมปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บดอัดแน่นในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องมือ Dynamic Cone Penetrometer. *วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, ปีที่ 23 ฉบับที่ 74, หน้า 87-96.

[8] อนิรุทธิ์ สุขแสน (2556). *กำลังอัดแกนเดียวของดินผสมผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับใช้ใหม่และปรับปรุงด้วยซีเมนต์*. โครงงานมหาบัณฑิต, การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภคสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[9] อาทิตย์ อินทรา (2556). อิทธิพลของปริมาณผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อกาลังอัดของวัสดุชั้นพื้นทางที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์. *วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, หน้า 10-17.