อิทธิพลของปริมาณผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเดิมต่อกำลังอัดของวัสดุชั้นพื้นทางที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์

อาทิตย์ อินทรา[1] สุขสันติ์ หอพิบูลสุข[2*] รัฐพล สมนา[3] และ เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์[4]

บทคัดย่อ

วิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นพื้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement recycling) เป็นวิธีการซ่อมแซมถนนที่ชำรุดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยในปัจจุบัน ขั้นตอนการก่อสร้างเริ่มต้นด้วยการขุดไส (Mill) ผิวทางเดิมบางส่วนทิ้ง ผิวทางเดิมนี้จัดเป็นวัสดุคัดทิ้งไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้และมีปริมาณมาก บทความนี้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณผิวทางแอสฟัลต์ ติกคอนกรีต ปริมาณปูนซีเมนต์ และอายุบ่ม ต่อกำลังอัดของหินคลุกผสมผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตและปูนซีเมนต์ ผลการศึกษาพบว่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของวัสดุผสมระหว่างหินคลุก (CR) และแอสฟัลต์ติกคอนกรีต (AC) มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ติกคอนกรีต เมื่อบดอัดด้วยพลังงานที่เท่ากัน (พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน) ทั้งนี้เนื่องจากยางในแอสฟัลต์ติกคอนกรีตมีคุณสมบัติการดูดซับพลังงานการบดอัดสูงกว่าหินคลุก กำลังอัดที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน มีค่าลดลงอย่างมาก ตามการเพิ่มขึ้นของ AC (การลดลงของอัตราส่วน CR:AC) การลดลงของกำลังอัดตามการเพิ่มขึ้นของ AC แสดงได้ด้วยสมการเชิงเส้นตรง การลดลงของกำลังอัดอาจเนื่องจากผิวของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตมีความลื่นสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับผิวของหินคลุก กำลังต้านทานแรงเฉือนที่จุดสัมผัสระหว่างอนุภาคของหินคลุกและ AC จึงมีค่าต่ำ วัสดุผสมที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป ทุกอัตราส่วน CR:AC ผ่านตามเกณฑ์ข้อกำหนดของกรมทางหลวง วัสดุผสมที่นำมาวิจัยสามารถที่จะนำมาเป็นวัสดุทางเลือกในการก่อสร้างหรือปรับปรุงถนนเพื่อเป็นประโยชน์ในแง่ของวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์

คำสำคัญ: แอสฟัลต์ติกคอนกรีต, หินคลุก, กำลังอัด, การรีไซเคิลผิวทาง

---

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
[2] ศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
[3] อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[4] นักวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร. 0-4422-4322, อีเมล: suksun@g.sut.ac.th

Influence of Reclaim Asphalt Concrete Pavement on Compressive Strength of Cement-Stabilized Material

Artit Intra[1] Suksun Horpibulsuk[2*] Rattapon Somna[3] and Cherdsak Suksiripattanapong[4]

Abstract

The pavement recycling, which has been widely used in Thailand, is generally used to restore damaged pavement. The process of construction begins with the milling of damaged pavement. This damaged pavement materials are considered as waste with a large quantity. This article aims to illustrate the influence of asphaltic concrete volume, cement content and curing time on compressive strength of cement stabilized crushed rock and waste asphalt concrete. Results show that the maximum dry unit weight of the mixed material between crushed rock (CR) and asphalt concrete (AC) decreases with an increase in AC replacement for the same compaction energy (modified Proctor test). It is because the rubber in AC absorbs more compaction energy than the CR. The compressive strengths at 7 and 28 days of curing decrease significantly with the increase in AC replacement. The decrease in strength may be because the surface of AC is more slippery than the surface of CR. Consequently, the shear strength at the contact points between the particles of CR and AC becomes low. The compressive strength versus AC replacement relationship is approximately linear. The mixed material which used cement contents higher than 5% for all CR:AC ratios is greater than the recommendation by the Department of Highways, Thailand. This mixed material stabilized with cement is beneficial from both engineering and economic viewpoints.

Keywords: Asphalt concrete, Crushed rock, Compressive strength, Pavement Recycling

---

[1] M.Eng Scholar, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology

[2] Professor, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology

[3] Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan

[4] Post-graduate Researcher, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology

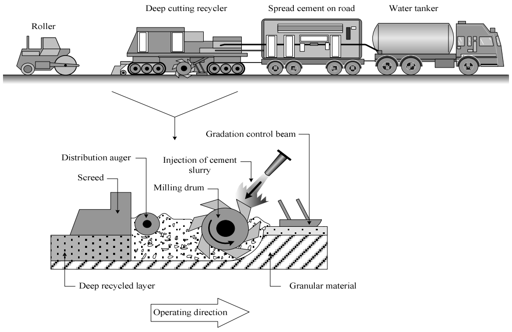
* Corresponding Author Tel. 0-4422-4322, E-mail: suksun@g.sut.ac.th

1. บทนำ

ความเสียหายของถนนมักเกิดเนื่องจากการรับน้ำหนักของยวดยาน การเสื่อมสภาพของวัสดุเอง และการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ เช่น การหลุดร่อนการเกิดร่องล้อและรอยแตกแบบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ความเสียหายของถนนที่ต้องทำการซ่อมแซม

เทคนิคการซ่อมบำรุงถนนที่ชำรุดของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการก่อสร้างและบูรณะทาง คือการนำวัสดุโครงสร้างทางเดิมมาหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่ (Pavement Recycling) เทคนิคนี้เป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุอย่างคุ้มค่าและประหยัดงบประมาณในการซ่อมแซมถนน การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ทำได้สองวิธี ได้แก่การนำวัสดุผิวทางเดิมไปผสมใหม่ที่โรงงานผลิต (In-Plant Recycling) และการหมุนเวียนวัสดุในที่ (In-Place Recycling) ซึ่งมีข้อได้เปรียบคือสามารถรื้อถอนวัสดุชั้นทาง และทำการปรับปรุง/ผสมใหม่ในพื้นที่ก่อสร้างได้ทันที ทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัสดุ นอกจากการใช้วัสดุโครงสร้างถนนเดิมแล้ว การซ่อมถนนด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ยังอาจผสมเพิ่มวัสดุเม็ดหยาบ หินคลุกและทราย แล้วเติมวัสดุผสมเพิ่ม (Additive) เช่น ปูนซีเมนต์ ปูนขาว และแอสฟัลต์ เป็นต้น เครื่องจักรที่ใช้ในการหมุนเวียนวัสดุแบบในที่แสดงในรูปที่ 2 ผิวทางเดิมที่ได้รับการปรับปรุง (เติม Aggregate และปูนซีเมนต์) จะถูกเกลี่ยและบดอัดทันที เพื่อให้ได้ความแน่นตามมาตรฐานกรมทางหลวง ข้อดีของการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่นอกจากประหยัดค่าใช้จ่ายแล้วยังสามารถลดการจราจรที่ติดขัดขณะซ่อมบำรุง (ถนนเปิดใช้ได้เร็วขึ้น) การซ่อมแซมด้วยวิธีนี้จะเริ่มต้นด้วยการออกแบบส่วนประกอบของดินซีเมนต์ (ขนาดคละของวัสดุ ปริมาณซีเมนต์ และระยะเวลาบ่ม) และทดสอบกำลังอัดในห้องปฏิบัติการรวมทั้งสุ่มตัดก้อนตัวอย่าง(Core sampling) ของถนนที่บดอัดแล้วไปหากำลังอัด รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถอ้างอิงได้จากมาตรฐานกรมทางหลวงที่ทล.-ม.213/2543 [1]



รูปที่ 2 ลักษณะทั่วไปของเครื่องจักรในงาน Pavement Recycling [2]

ในทางปฏิบัติ การซ่อมแซมถนนด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement recycling) ต้องมีการขูดไส (Mill) ผิวทางเดิมบางส่วนทิ้งเพื่อปรับระดับ ผิวทางใหม่ (หลังการซ่อมบำรุง) จึงเป็นวัสดุผสมระหว่างหินคลุก ผิวทางเดิม และปูนซีเมนต์ ในขณะที่ งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนากำลังอัดของถนนที่ได้รับการซ่อมแซมด้วยเทคนิคการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่เป็นการศึกษาตัวอย่างหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ [2-4] งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาอิทธิพลของปริมาณผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีตเดิมต่อคุณสมบัติการบดอัด การพัฒนากำลังอัดของหินคลุกผสมปูนซีเมนต์บด ซึ่งเป็นสภาพที่คล้ายกับถนนดินซีเมนต์ที่ซ่อมแซมโดยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ นอกจากอิทธิพลของปริมาณผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเดิมแล้ว ปริมาณปูนซีเมนต์และระยะบ่มก็เป็นตัวแปรหลักที่พิจารณาในบทความนี้ด้วย

2. ตัวอย่างและวิธีการดำเนินงาน

ผู้วิจัยได้นำตัวอย่างหินคลุก (CR) มาผสมเข้ากับผิวทางเดิม (AC) ในอัตราส่วนการแทนที่หินคลุกเท่ากับร้อยละ 20, 40, 60 และ 80 AC ได้จากโครงการซ่อมแซมถนนด้วยการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement Recycling) ของถนนสาย 2285 ตอนแยกทางหลวงหมายเลข 207 (ประทาย) - บรรจบทางหลวงหมายเลข 2226 (ชุมพวง) AC มีสีเทาดำและมีปริมาณดินเม็ดหยาบมากกว่าร้อยละ 90 และไม่มีสภาพความเป็นพลาสติก ผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเดิมเป็นชนิด AC60-70 ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 1 หินคลุกมาจากหมวดการทางชุมพวง มีสีเทาน้ำตาล ปริมาณดินเม็ดหยาบเกินกว่าร้อยละ 90 และไม่มีสภาพความเป็นพลาสติก คุณสมบัติของหินคลุกแสดงดังตารางที่ 2 วัสดุทั้งสองเมื่อจำแนกดินตามระบบเอกภาพ (USCS) จัดเป็นกรวดที่มีขนาดคละกันดี (GW) ดังรูปที่ 3

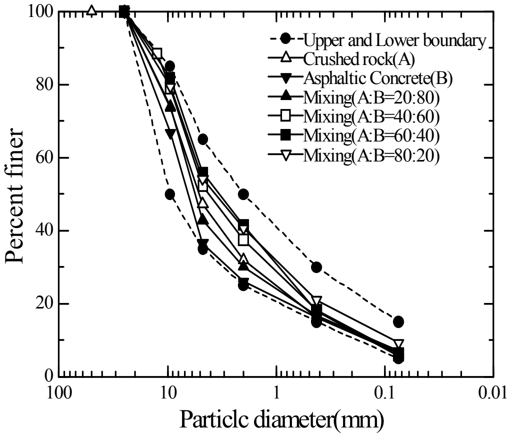
ตารางที่ 1 คุณสมบัติเบื้องต้นของผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต

Bulk specific gravitu of mixed aggregate	2.665
Specific gravity of asphalt cement	1.02
Asphalt absorption by wt. of aggregate	0.44 %
AC content by weight of Aggregate	5.5% (±0.3%)

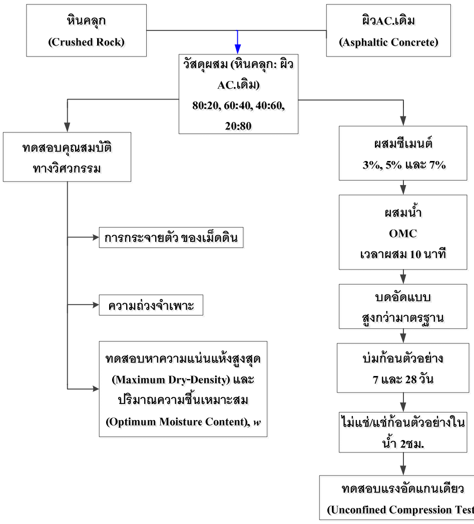
ตารางที่ 2 คุณสมบัติเบื้องต้นของหินคลุก

Gradation	A
CBR	90.4%
Abrasion Test	20.8%
Water absorption	0.79%

วัสดุผสมระหว่าง CR และ AC ถูกนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ และบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างบดอัดจะนำมาทดสอบกำลังอัดที่อายุบ่มต่าง ๆ ภายใต้สภาวะแช่น้ำและไม่แช่น้ำ แผนการทำงานแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 การกระจายตัวของดินผสมที่อัตราส่วน CR : AC ต่าง ๆ



รูปที่ 4 แผนการวิจัยในห้องปฏิบัติงาน

3. ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

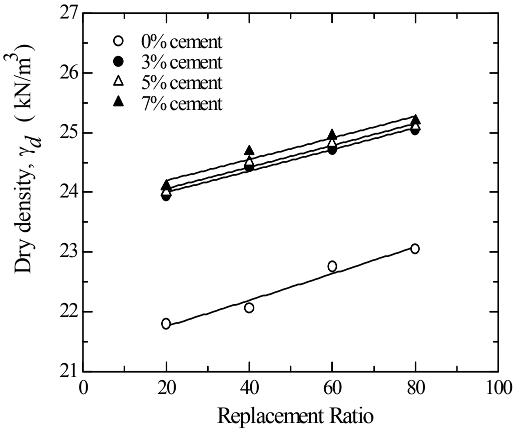
ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุผสม CR และ AC บดอัด จะเห็นได้ว่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของวัสดุผสมระหว่าง CR และ AC มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ติกคอนกรีต (R) ภายใต้พลังงานการบดอัด (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) ที่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากยางในแอสฟัลต์ติกคอนกรีตมีคุณสมบัติการดูดซับพลังงานการบดอัดสูงกว่าหินคลุก วัสดุผสมที่ปริมาณ AC มาก จึงดูดซับพลังงาน

ได้มากกว่า และส่งผลให้หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดลดลง ปริมาณความชื้นเหมาะสม (OMC) ของวัสดุผสมมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ติกคอนกรีต ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลทดสอบการบดอัดของหินคลุก [2]

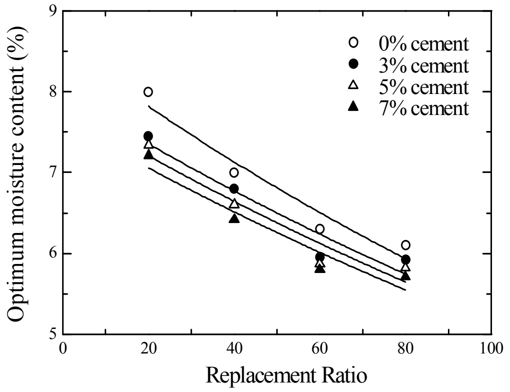
ตารางที่ 3 ปริมาณความชื้นเหมาะสมและหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของวัสดุผสม (หินคลุก: ผิวAC)

Materials	Classification		OMC %	γ_{dmax} kN/m^3
	AASHTO	USCS		
CR: Crushed rock	A-1-a	GW	5.4	23.90
AC: Asphaltic Concrete	A-1-a	GW	9.8	20.20
CR:AC = 20:80	A-1-a	SW	8.0	21.80
CR:AC = 40:60	A-1-a	SW	7.0	22.07
CR:AC = 60:40	A-1-a	SW	6.3	22.76
CR:AC = 80:20	A-1-a	SW	6.1	23.05

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของวัสดุผสมแปรผันตรงตามปริมาณปูนซีเมนต์และอัตราส่วน CR:AC และสามารถประมาณได้ด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง การเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์เพียงร้อยละ 3 เพิ่มหน่วยน้ำหนักแห้งของดินบดอัด โดยการเพิ่มขึ้นของหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 4 ของหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสม CR และ AC ที่ไม่ผสมปูนซีเมนต์ แต่อย่างไรก็ตาม อิทธิพลของปูนซีเมนต์ต่อการเปลี่ยนแปลงหน่วยน้ำหนักแห้งมีไม่มากนัก เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์มีค่าเกินกว่าร้อยละ 3 ความชันของความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งและอัตราส่วนการแทนที่ (R) มีค่าประมาณคงที่สำหรับวัสดุผสมระหว่าง CR และ AC ทั้งที่ผสมและไม่ผสมปูนซีเมนต์ สิ่งนี้แสดงว่าอิทธิพลของปูนซีเมนต์ต่อการเพิ่มหน่วยน้ำหนักแห้งมีความใกล้เคียงกัน โดยไม่แปรผันตามอัตราส่วนการแทนที่



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดกับอัตราส่วนต่าง ๆ

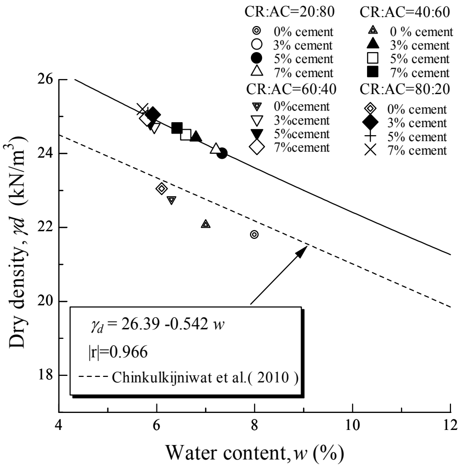


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเหมาะสมกับอัตราส่วนต่าง ๆ

การเพิ่มขึ้นของหน่วยน้ำหนักแห้งอาจเกิดจากการรวมตัวของอนุภาคดินจนมีขนาดใหญ่ขึ้น (Flocculation) เนื่องจากการแลกเปลี่ยนประจุ (Cation Exchange) และอาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของความถ่วงจำเพาะของวัสดุผสม เนื่องจากปูนซีเมนต์มีความถ่วงจำเพาะที่สูงกว่า CR และ AC การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นเหมาะสมตามการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วน CR:AC และปริมาณปูนซีเมนต์แสดงในรูปที่ 6 ปริมาณความชื้นเหมาะสมมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วน CR:AC และปริมาณปูนซีเมนต์ การลดลงของปริมาณความชื้นเหมาะสมสอดคล้องกับการ

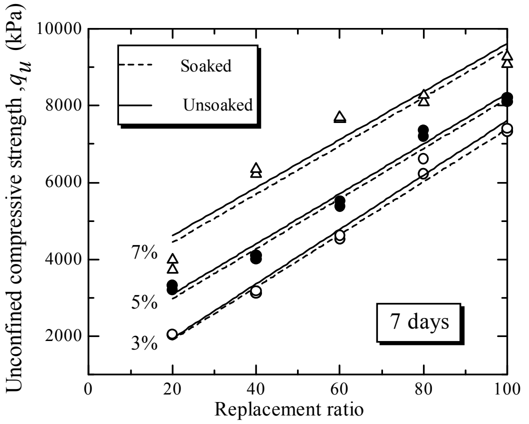
เพิ่มขึ้นของหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด ซึ่งเป็นพฤติกรรมทั่วไปของวัสดุบดอัด จากความสอดคล้องดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งและปริมาณความชื้นเหมาะสมดังแสดงในรูปที่ 7 ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ด้วยสมการโพลิโนเมียน สำหรับทุกอัตราส่วน CR:AC ปริมาณปูนซีเมนต์ และอายุบ่ม ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Chinkulkijniwat et al. [5] สำหรับดินบดอัด (ไม่ผสมปูนซีเมนต์) หลายชนิด ดังแสดงในรูปที่ 7 เนื่องจากอิทธิพลของปูนซีเมนต์ความสัมพันธ์ของดินซีเมนต์บดอัดจึงอยู่เหนือความสัมพันธ์ของดินบดอัด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ดินซีเมนต์บดอัดมีหน่วยน้ำหนักแห้งสูงกว่าดินบดอัดที่ปริมาณความชื้นเหมาะสมเท่ากัน แต่อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งและปริมาณความชื้นเหมาะสมของวัสดุผสมระหว่าง CR และ AC (ไม่ผสมปูนซีเมนต์) สามารถประมาณได้ความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Chinkulkijniwat et al. [5]

รูปที่ 8 และ 9 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วน CR:AC มีอิทธิพลอย่างมากต่อการพัฒนากำลังอัด ดังจะเห็นได้ว่ากำลังอัดที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน มีค่าลดลงอย่างมากตามการเพิ่มขึ้นของ AC (การลดลงของอัตราส่วน CR:AC) การลดลงของกำลังอัดตามการเพิ่มขึ้นของ AC แสดงได้ด้วยสมการเชิงเส้นตรง เช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระว่างหน่วยน้ำหนักแห้งและอัตราส่วน CR:AC การเพิ่มขึ้นของ AC มีผลลบต่อการพัฒนากำลังอัด แม้ว่าจะมีการผสมเพิ่มในปริมาณน้อยก็ตาม การลดลงของกำลังอัดอาจเนื่องจากผิวของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตมีความลื่นสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับผิวของหินคลุก กำลังต้านทานแรงเฉือนที่จุดสัมผัสระหว่างอนุภาคของ CR และ AC จึงมีค่าต่ำ ส่งผลให้กำลังอัดของตัวอย่างที่ปริมาณปูนซีเมนต์ค่าหนึ่งมีค่าลดลงตามปริมาณ AC ที่เพิ่มขึ้น (อัตราส่วน CR:AC ที่ต่ำลง) ที่ปริมาณอัตราส่วน CR:AC ค่าหนึ่ง กำลังอัดของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไฮเดรชั่นที่สูงกว่า ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วน CR:AC มีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันใกล้เคียงกัน สำหรับปริมาณปูนซีเมนต์ทั้งสามส่วนผสม ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า ปริมาณ AC เป็นตัวแปรหลักที่มีผลต่อการลดลงของกำลังอัด สำหรับทุกอัตราส่วน CR:AC

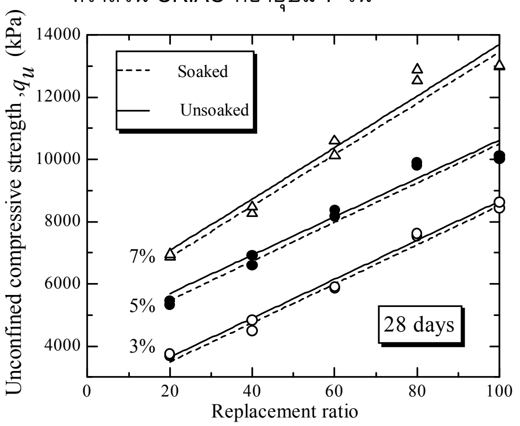


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดกับปริมาณความชื้นเหมาะสม

เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 8 และ 9 จะเห็นได้ว่ากำลังอัดของตัวอย่างที่อัตราส่วน CR:AC ต่าง ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม การพัฒนาของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับอายุบ่มทำให้แรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคของ CR และ AC เพิ่มมากขึ้น เมื่อนำค่ากำลังอัดของวัสดุผสมระหว่าง CR และ AC มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดค่ากำลังอัดแกนเดียวของชั้นพื้นทางหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ที่อายุบ่ม 7 วัน ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2413 กิโลปาสคาล วัสดุผสมที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป ทุกอัตราส่วนCR:AC ผ่านตามเกณฑ์ข้อกำหนด แต่หากพิจารณาที่ปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำ (ร้อยละ 3) อัตราส่วน CR:AC ที่มากกว่า 40:60 ผ่านตามเกณฑ์ข้อกำหนด



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวต่อตราส่วน CR:AC ที่อายุบ่ม 7 วัน



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวต่ออัตราส่วน CR:AC ที่อายุบ่ม 28 วัน

4. สรุปผลการศึกษา

บทความนี้นำเสนอความเป็นไปได้ของการนำวัสดุที่เหลือใช้มาใช้ประโยชน์ในงานวิศวกรรมการทาง โดยนำผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเดิมที่เสียหาย (AC) มาทำการผสมกับวัสดุชั้นทางหินคลุก (CR) และปูนซีมนต์ด้วยเทคนิคการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ ประเด็นสำคัญของงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1. การเพิ่มขึ้น AC ใน CR ทำให้หน่วยน้ำหนักแห้งของดินซีเมนต์บดอัดลดลงเนื่องจาก AC มีความสามารถในการดูดซึมพลังงานสูงกว่า CR ดังนั้นพลังงานการบดอัดที่ส่งผ่านไปยังอนุภาคของ CR และ AR จึงลดลงตามการเพิ่มของ AC ปริมาณความชื้นเหมาะสมของดินซีเมนต์บดอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด ซึ่งเป็นพฤติกรรมเช่นเดียวกับดินบดอัด (ไม่ผสมซีเมนต์)

4.2. เนื่องจากอิทธิพลของปูนซีเมนต์ หน่วยน้ำหนักแห้งของดินซีเมนต์บดอัดมีค่าสูงกว่าหน่วยน้ำหนักแห้งของดินบดอัดที่อัตราส่วน CR:AC และพลังงานการบดอัดเดียวกัน ดังจะเห็นได้จากผลเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นเหมาะสมของดินซีเมนต์บดอัดและดินบดอัด

4.3. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วน CR:AC แสดงได้ด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง สำหรับทุกปริมาณปูนซีเมนต์และอายุบ่ม ซึ่งแสดงว่าการเพิ่มขึ้นของ AC มีผลลบต่อการพัฒนากำลังอัด แม้ว่าจะมีการผสมเพิ่มในปริมาณน้อยก็ตาม การลดลงของกำลังอัดอาจเนื่องจากผิวของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตมีความลื่นสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับผิวของหินคลุก กำลังต้านทานแรงเฉือนที่จุดสัมผัสระหว่างอนุภาคของ CR และ AC จึงมีค่าต่ำ

4.4. วัสดุผสมที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป ทุกอัตราส่วน CR:AC ผ่านตามเกณฑ์ข้อกำหนดของกรมทางหลวง (กำลังอัดไม่น้อยกว่า 2413 กิโลปาสคาล ที่อายุบ่ม 7 วัน) แต่หากพิจารณาที่ปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำ (ร้อยละ 3) อัตราส่วน CR:AC ที่มากกว่า 40:60 ผ่านตามเกณฑ์ข้อกำหนด

4.5. วัสดุผสมระหว่าง CR และ AC เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานกรมทางหลวงสามารถนำมาเป็นวัสดุทางเลือกในการก่อสร้างหรือปรับปรุงถนนเพื่อเป็นประโยชน์ในแง่ของวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกรมทางหลวง และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาและวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สำหรับความอนุเคราะห์ด้านอุปกรณ์และเครื่องทดสอบ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมทางหลวง (2520). วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้าง เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กระทรวงคมนาคม. 58 หน้า.

[2] Horpibulsuk, S., Katkan, W., Sirilerdwattana, W. and Rachan, R., 2006, Strength development in cement stabilized low plasticity and coarse grained soils: laboratory and field study, *Soil and Foundations*, Vol. 46, No. 3, pp. 351-366

[3] ธีรชาติ รื่นไกรฤกษ์ และสมบัติกระแส จรัสกร (2544). กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน.รายงานวิจัยฉบับที่วพ. 188 ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม. หน้า 160-163.

[4] วันชัย ศิริเลิศวัฒนา (2546). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของถนนที่ซ่อมแซมโดยเทคนิคการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[5] Chinkulkijniwat, A., Man-koksung, E, Uchaipichat, A., and Horpibulsuk, S., 2010, Compaction characteristics of non-gravel and gravelly soils using a small compaction apparatus, *Journal of ASTM International*, Vol.7, No.7, Paper ID JAI102945.