การบูรณะชั้นพื้นทางเดิม โดยการหมุนเวียนชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ บนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง - เข็กน้อย

Rehabilitation of Existing base course by Pavement Recycling Process For Wangthong – Khek Noi section of Highways No. 12

ชัจจักร์ ศรีประเสริฐ[1,*] ชวเลข วณิชเวทิน[2] และ พิพัฒน์ สอนวงษ์[3]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน จ.กรุงเทพฯ

**Corresponding author; E-mail address: Chadjajaks1980@hotmail.com*

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อต้องการหาปริมาณปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนผสมระหว่างดินซีเมนต์กับหินคลุกที่เหมาะสมของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์เดิมที่เกิดความเสียหาย บนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง - เข็กน้อย และทำการบูรณะปรับปรุงชั้นพื้นทาง โดยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ แบบปรับปรุงคุณภาพในที่ ซึ่งได้ทำการออกแบบอัตราส่วนผสมเพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดแกนเดียว ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ในอัตราส่วนผสมของ (ดินซีเมนต์ : หินคลุก) จำนวน 4 รูปแบบ คือ 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50 และ 25 : 75 และเติมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในระหว่างปริมาณ 3 – 7% รวม 144 ตัวอย่าง ทำการบ่มตัวอย่างที่ระยะเวลา 1, 3, 5, 7, 14 และ 28 วัน ซึ่งผลของงานวิจัยพบว่าอัตราส่วนที่มีความเหมาะสม คือ ใช้อัตราส่วนผสม (ดินซีเมนต์ : หินคลุก) ที่ 50 : 50 ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ประมาณ 4% ที่ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน ซึ่งค่ากำลังอัดแกนเดียวที่ได้ มีค่ามากกว่า 24.50 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร (ksc)

คำสำคัญ: ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์, ค่ากำลังอัดแกนเดียว, การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ แบบปรับปรุงคุณภาพในที่

Abstract

The objective of this research is to study the appropriate quantity of cement and mixing ratio of soil cement and crushed rock to rehabilitate the damage soil cement base on Wangthong – Khek Noi section of Highways No.12 by cold in – place recycling process. To obtain the require unconfined compressive strength (UCS) in accordance with the standard of The Department of Highways, for 4 mixing forms (soil cement : crushed rock) of 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50 and 25 : 75 together with 3 – 7% of Portland Cement Type 1 were used to mix 144 samples. The sample were cured for 1, 3, 5, 7, 14 and 28 days and tested. The 50 : 50 proportion of soil cement : crushed rock and 4% of Portland Cement Type 1 at 5 days curing time yielded unconfined compressive strength of more than 24.50 Kilogram Per Square Centimeter (ksc) .

Keywords: soil cement base, unconfined compressive strength, cold in - place recycling process

1. คำนำ

กรมทางหลวงมีสายทางในความรับผิดชอบกว่า 71,349 กิโลเมตร ซึ่งถนนส่วนใหญ่มักถูกออกแบบเป็นผิวทางแบบยืดหยุ่น **(Flexible Pavement)** ดังนั้นชั้นพื้นทาง **(Base Course)** จึงนิยมใช้เป็นพื้นทางหินคลุก **(Crushed Rock Base)**, หินคลุกผสมซีเมนต์ **(Cement Modified Crushed Rock Base)** หรือดินซีเมนต์ **(Soil Cement Base)** โดยในแต่ละปีงบประมาณที่ได้รับการจัดสรรสำหรับการซ่อมแซมถนนนั้นไม่เพียงพอกับสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงได้ทั้งหมด การบูรณะซ่อมแซม และบำรุงรักษา จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ถนนมีสภาพการใช้งานที่ดีอยู่เสมอ ซึ่งวิธีการบูรณะซ่อมแซม และบำรุงรักษาถนนของกรมทางหลวงนั้น จะมีทั้งงานบำรุงปกติ, งานบำรุงตามกำหนดเวลา และงานบำรุงพิเศษและบูรณะ ทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง - เข็กน้อย ช่วง กม.250+755 - กม.280+855 ระยะทางประมาณ 30 กิโลเมตร ตั้งอยู่ที่ อ. วังทอง จ.พิษณุโลก ถูกออกแบบชั้นพื้นทางเป็นดินซีเมนต์ (soil cement base) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการขยายช่องจราจรจากเดิม 2 ช่อง เป็น 4 ช่องจราจร มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยกว่า 20,000 คันต่อวัน จึงทำให้ถนนเกิดความเสียหายอย่างรวดเร็วลามจนถึงชั้นพื้นทาง โดยในการบูรณะซ่อมแซมถนนสายนี้ จะเลือกใช้วิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ แบบปรับปรุงคุณภาพในที่ (cold in-place recycling process) [6] วิธีการนี้ทำโดยใช้เครื่องจักรกัดผิวทางที่เกิดความเสียหายออกก่อน แล้วจึงกัดผสมวัสดุชั้นพื้นทางเดิมกับวัสดุผสมเพิ่มเข้าด้วยกัน (โดยไม่นำผิวทางเดิมมาใช้) แล้วทำการปรับปรุงคุณภาพและกำลังอัดด้วยการผสมปูนซีเมนต์ แล้วบดอัดวัสดุผสมเพิ่มที่เติมเข้าไปเป็นชั้นพื้นทางใหม่ ในพื้นที่ก่อสร้างได้ทันที

วิธีนี้จึงช่วยประหยัดเวลา และค่าดำเนินการในการซ่อมบำรุง อีกทั้งยังสามารถควบคุมในเรื่องของคุณสมบัติของวัสดุคัดเลือกที่นำมาผสมเพิ่มได้ จึงช่วยลดปัญหาของขยะหรือของเสียจากกระบวนการก่อสร้างหรือขนส่งวัสดุ ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัสดุ ใช้เวลาการก่อสร้างสั้น ลดต้นทุนค่าก่อสร้าง ลดปัญหาการจราจรที่ติดขัดในกรณีที่สถานที่ก่อสร้างมีพื้นที่จำกัด และถนนที่ก่อสร้างสามารถเปิดใช้งานได้เร็วขึ้น

ในการบูรณะซ่อมแซมชั้นพื้นทางเดิม จะทำการออกแบบอัตราส่วนผสมของดินซีเมนต์กับหินคลุก และเติมปูนซีเมนต์เพื่อเพิ่มกำลังอัดในปริมาณและอัตราส่วนที่เหมาะสม บดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน และทำการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังอัดแกนเดียว **unconfined compressive strength (UCS)** ทล.ท.105/2515 [2] ในห้องปฏิบัติการ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาปริมาณของปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดที่ต้องการ ไม่น้อยกว่า 24.50 Kilogram Per Square Centimeter (ksc) ตามมาตรฐานกรมทางหลวงเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ที่จะทำการออกแบบ

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงปริมาณปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนผสมระหว่างดินซีเมนต์กับหินคลุก รวมถึงระยะเวลาการบ่มที่เหมาะสม ที่จะทำให้ชั้นพื้นทางเดิมซึ่งเกิดความเสียหาย สามารถกลับมาใช้งานและรับน้ำหนักได้อีก โดยทำการออกแบบอัตราส่วน (ดินซีเมนต์ : หินคลุก) และเติมปูนซีเมนต์ เพื่อให้ได้ค่าแรงอัดแกนเดียวตามมาตรฐานกรมทางหลวง ที่ ทล.ม.201/2544, ทล.ม.203/2556 [4,5] และเป็นการนำเอาวัสดุชั้นพื้นทางเดิมที่ได้ออกแบบอัตราส่วนผสม มาใช้ในการบูรณะซ่อมแซมถนน เพื่อให้เกิดความประหยัดคุ้มค่า และถูกต้องตามหลักวิศวกรรม โดยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ แบบปรับปรุงคุณภาพในที่ (cold in-place recycling process) ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ที่ ทล.ม.213/2543 [6]

3. วิธีการศึกษา

3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 วัสดุชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base)

ตัวอย่างของดินซีเมนต์ (Soil Cement) ที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ เป็นวัสดุซึ่งเกิดความเสียหายที่ไม่สามารถรับน้ำหนักและใช้งานได้ ที่เก็บจากทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง - เข็กน้อย จ.พิษณุโลก ซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติของค่าการสึกหรอ ไม่เกินร้อยละ 60 เมื่อทดลองตามวิธีหาค่าความสึกหรอ โดยเครื่อง Los Angeles Abrasion นำไปร่อนผ่านตะแกรง ¾ นิ้ว ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง [1] และจะต้องมีค่า UCS ไม่ต่ำกว่า 17.50 ksc [7] ดังแสดงในรูปที่ 1

3.1.2 วัสดุผสมเพิ่มเพื่อใช้ปรับปรุงคุณภาพ (Stabilizing Agents)

เลือกใช้วัสดุมวลรวมที่จะนำมาผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพของวัสดุชั้นพื้นทาง ตามข้อกำหนดกรมทางหลวง 2 ชนิด ดังนี้

- หินคลุก (Crushed Rock) จาก จ.พิษณุโลก หรือพื้นที่จังหวัดใกล้เคียง [8] ซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติของค่าการสึกหรอ ไม่เกินร้อยละ 40 เมื่อทดลองตามวิธีหาค่าความสึกหรอ โดยเครื่อง Los Angeles Abrasion นำไปร่อนผ่านตะแกรง ¾ นิ้ว และจะต้องมีค่า California Bearing ratio (C.B.R.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง [1] ดังแสดงในรูปที่ 2
- ปูนซีเมนต์ (Portland Cement) เป็นซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.15 เล่ม 1-2555 ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 1 ดินซีเมนต์เดิมที่เสียหาย

รูปที่ 2 หินคลุก

รูปที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1

3.2 กำลังอัดของดินซีเมนต์

การทดสอบความแข็งแรงของดินซีเมนต์โดยใช้ทฤษฎีแรงอัดแกนเดียว unconfined compressive strength นั้น เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Destructive Test) โดยใช้วิธีแบบควบคุมความเครียด (Strain Control) ในการหาค่าความต้านทานแรงเฉือนของดิน ทล.-ท.105/2515 [2]

4. วิธีดำเนินการวิจัย

จะแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ 1.) วิเคราะห์พื้นที่ที่เกิดความเสียหายในภาคสนาม และ 2.) การทดสอบอัตราส่วนผสมของวัสดุที่เกิดความเสียหายในภาคสนาม ที่นำมาทำการออกแบบ โดยใช้ค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) เป็นตัวกำหนด เพื่อนำเอาอัตราส่วนผสมที่มีความเหมาะสมไปใช้ในการบูรณะซ่อมแซมชั้นพื้นทางที่เกิดความเสียหาย บนทางหลวงหมายเลข 12 และในพื้นที่ใกล้เคียงต่อไป ซึ่งการดำเนินการวิจัยแต่ละขั้นตอน มีดังนี้

4.1 ตรวจสอบและวิเคราะห์ลักษณะของสภาพความเสียหายในภาคสนาม

ดำเนินการโดยใช้รถตรวจการณ์วิ่งเพื่อตรวจสอบ และสำรวจด้วยสายตาก่อนเบื้องต้น ซึ่งจากการสำรวจและใช้วิธีการประเมินด้วยสายตา (Visual Inspection) นั้น สามารถจำแนกลักษณะของสภาพความเสียหายออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ 3 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 4 - 6

รูปที่ 4 ความเสียหายของผิวทางแบบรอยแตกหนังจระเข้

รูปที่ 5 ความเสียหายของผิวทางแบบรอยปูดบูน

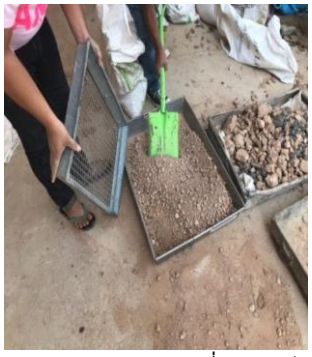
รูปที่ 6 ความเสียหายของผิวทางแบบร่องล้อ

4.2 การทดสอบอัตราส่วนผสมของวัสดุที่นำมาใช้ทำการออกแบบ

หลังจากได้ทำการเก็บตัวอย่างของวัสดุเพื่อนำไปใช้ทดสอบ ในเบื้องต้นจะนำเอาตัวอย่างวัสดุไปตากให้แห้งก่อน วัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้วัสดุดังกล่าวนั้นอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งก่อน เนื่องจากเป็นการจำลองสถานะของวัสดุสำหรับใช้ในการทำงานจริง โดยขั้นตอนการทดสอบ จะแบ่งออกเป็น

4.2.1 การทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมตามมาตรฐาน

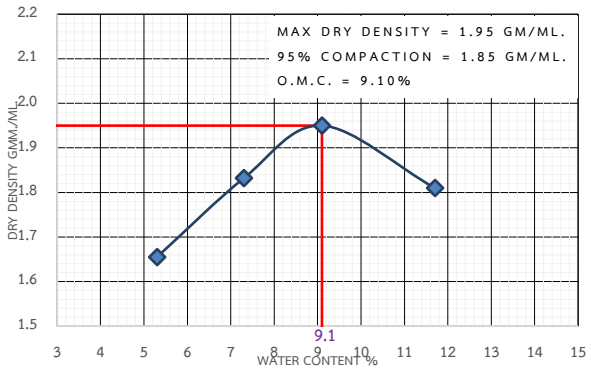
ตัวอย่างของวัสดุมวลรวมทั้งหมดที่นำมาใช้งานวิจัยจะนำไปร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ ¾ นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยในการเตรียมตัวอย่างการทดสอบ 1 ตัวอย่าง จะกำหนดให้มีน้ำหนักรวมทั้งหมด 4,000 กรัม และแบ่งอัตราส่วนผสมที่ออกแบบ ออกเป็น 4 รูปแบบ นำไปทดสอบหาค่าการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test) ตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท.107-2517 [3] ซึ่งในแต่ละรูปแบบจะนำไปหา “ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม” (Optimum Moisture Content, OMC.) ดังแสดงในรูปที่ 8



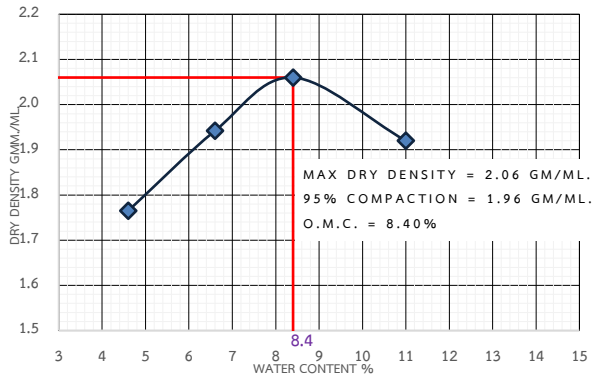
รูปที่ 7 การเตรียมตัวอย่างของวัสดุ

รูปที่ 8 การทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน

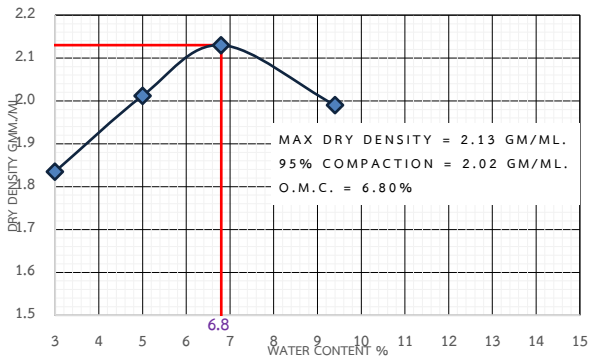
หลังจากทดสอบการบดอัดดินตัวอย่างแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test) จึงนำเอาค่าที่ได้จากกราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่เหมาะสม Optimum Moisture Content (OMC.) และค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด Maximum Dry Density (MDD.) ของแต่ละอัตราส่วนทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 9 - 12 มาอธิบายสรุปดังแสดงในตารางที่ 1



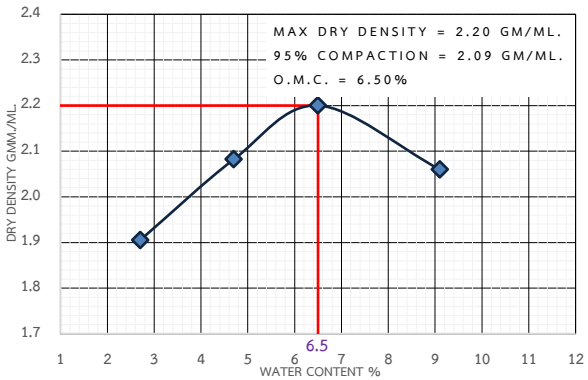
รูปที่ 9 การบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานของอัตราส่วนที่ 1



รูปที่ 10 การบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานของอัตราส่วนที่ 2



รูปที่ 11 การบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานของอัตราส่วนที่ 3



รูปที่ 12 การบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานของอัตราส่วนที่ 4

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OMC. และ MDD. จากการบดอัดดิน

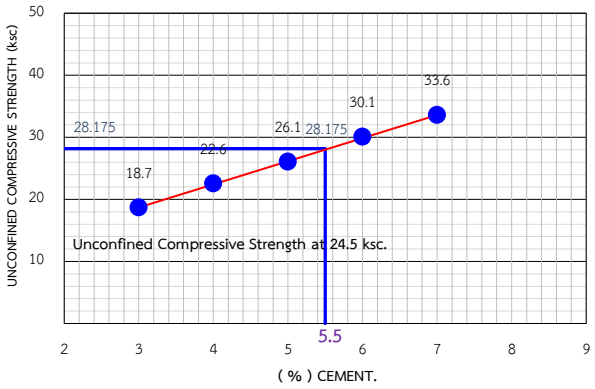
อัตราส่วนที่	ร้อยละของส่วนผสมระหว่างดินซีเมนต์: หินคลุก	ค่า OMC. (%)	ค่า MDD. (g./cc.)
1	100 : 0	9.10	1.95
2	75 : 25	8.40	2.06
3	50 : 50	6.80	2.13
4	25 : 75	6.50	2.20

4.2.2 ตัวอย่างสำหรับการวิจัย

ผู้เขียนจะแบ่งตัวอย่างสำหรับนำมาใช้งานวิจัยออกเป็น 2 ช่วง คือ ตัวอย่างช่วงที่ 1 ใช้เพื่อออกแบบหาร้อยละของปริมาณปูนซีเมนต์ทั้ง 4 รูปแบบที่จะทำให้ตัวอย่างมีค่า UCS เท่ากับ 24.50 ksc โดยจะนำตัวอย่างทั้งหมดไปบ่มที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน ซึ่งค่าของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ได้ถือเป็นค่าตั้งต้น ที่จะนำไปเติมลงในตัวอย่างทั้ง 4 รูปแบบ

ตัวอย่างช่วงที่ 2 ใช้เพื่อทดสอบหาค่า UCS หลังจากที่ได้ค่าร้อยละของปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะนำไปเติมลงในตัวอย่างทั้ง 4 รูปแบบ ซึ่งได้ค่าเท่ากับ (5.50, 4.80, 3.50 และ 3.30 ตามลำดับ) แล้วนำไปบ่มที่ระยะเวลาการบ่มที่ 1, 3, 5, 7, 14 และ 28 วัน

ยกตัวอย่างค่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของปริมาณปูนซีเมนต์ของอัตราส่วนที่ 1 ที่ได้จากกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ของร้อยละของปริมาณปูนซีเมนต์กับค่า UCS

4.3 การทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS)

หลังจากที่ได้ทราบค่าของปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะใช้เติมลงไปในแต่ละอัตราส่วนทั้ง 4 รูปแบบ จำนวน 72 ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 14 จากนั้นจะนำตัวอย่างทั้งหมดไปบ่มที่ระยะเวลา 1, 3, 5, 7, 14 และ 28 วันก่อนนำไปทดสอบหาค่า UCS ดังแสดงในรูปที่ 15 เพื่อให้ได้ค่า UCS ตามที่ต้องการเท่ากับ24.50 ksc ที่ระยะการบ่ม 7 วัน ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ดังแสดงในตารางที่ 2

รูปที่ 14 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบหาค่ากำลังอัดแกนเดียว

รูปที่ 15 การทดสอบแรงอัดแกนเดียว

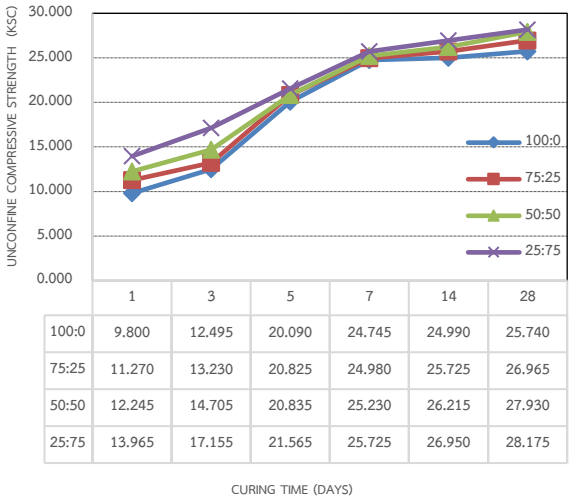
ตารางที่ 2 จำนวนตัวอย่างที่เตรียมสำหรับการวิจัย

อัตราส่วนที่	ปริมาณของส่วนผสมระหว่างดินซีเมนต์:หินคลุก (กรัม)	(%) ปูนซีเมนต์	จำนวนตัวอย่าง:เวลาการบ่ม (วัน)					
			1	3	5	7	14	28
(1) 100 : 0	4,000 : 0	5.50	3	3	3	3	3	3
(2) 75 : 25	3,000 : 1,000	4.80	3	3	3	3	3	3
(3) 50 : 50	2,000 : 2,000	3.50	3	3	3	3	3	3
(4) 25 : 75	1,000 : 3,000	3.30	3	3	3	3	3	3

5. ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

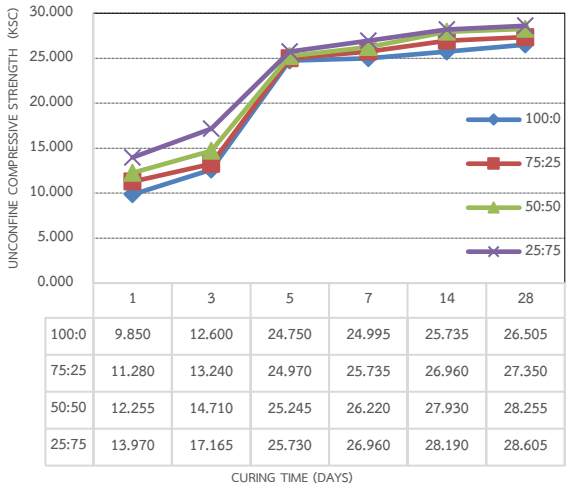
5.1 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว ***Unconfined Compressive Strength (UCS)***

จากการทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) เพื่อให้ได้ค่าตามมาตรฐานกรมทางหลวง ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน เท่ากับ 24.50 ksc โดยผลของการทดสอบพบว่า ค่า UCS ของอัตราส่วนทั้ง 4 รูปแบบ ที่ได้นั้น มีค่าไม่น้อยกว่า 24.50 ksc ดังนั้น ผู้เขียนจึงต้องการศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะทำให้ตัวอย่างของอัตราส่วนทั้ง 4 รูปแบบ นั้น มีความสามารถในการรับแรงที่ใช้ระยะที่ลดลง แต่ได้ค่า UCS เท่ากับ 24.50 ksc ตามมาตรฐานกรมทางหลวง จึงได้ทำการทดสอบทุกขั้นตอนเหมือนเดิมอีกครั้งหนึ่ง โดยได้กำหนดให้ตัวอย่างของอัตราส่วนทั้ง 4 รูปแบบ มีค่า UCS เท่ากับ 24.50 ksc ที่ระยะเวลาการบ่มตัวอย่างที่ 5 วัน ซึ่งปัจจัยที่จะทำให้ตัวอย่างของอัตราส่วนทั้ง 4 รูปแบบ มีค่า UCS เท่ากับ 24.50 ksc ได้รวดเร็วขึ้น คือ การกำหนดให้ค่าร้อยละของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เติมลงไปในตัวอย่างนั้นมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลจากการทดสอบที่ได้ทั้ง 2 กรณี แสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (UCS) กับระยะเวลาการบ่มของอัตราส่วนทั้ง 4 รูปแบบ โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ทำให้ได้ค่า Strength เท่ากับ 24.50 ksc ที่ 7 และ 5 วัน ดังแสดงในรูปที่ 16 – 17



	1	3	5	7	14	28
100:0	9.800	12.495	20.090	24.745	24.990	25.740
75:25	11.270	13.230	20.825	24.980	25.725	26.965
50:50	12.245	14.705	20.835	25.230	26.215	27.930
25:75	13.965	17.155	21.565	25.725	26.950	28.175

รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS. กับระยะเวลาการบ่มของอัตราส่วนทั้ง 4 รูปแบบ ที่ทำให้ได้ค่า Strength เท่ากับ 24.50 ksc ที่ 7 วัน



	1	3	5	7	14	28
100:0	9.850	12.600	24.750	24.995	25.735	26.505
75:25	11.280	13.240	24.970	25.735	26.960	27.350
50:50	12.255	14.710	25.245	26.220	27.930	28.255
25:75	13.970	17.165	25.730	26.960	28.190	28.605

รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS. กับระยะเวลาการบ่มของอัตราส่วนทั้ง 4 รูปแบบ ที่ทำให้ได้ค่า Strength เท่ากับ 24.50 ksc ที่ 5 วัน

และนำผลจากการทดสอบที่ได้ทั้ง 2 กรณี แสดงในตารางที่ 3 และ 4 ดังนี้

ตารางที่ 3 ค่า UCS ของตัวอย่างที่ต้องการ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนที่	1	2	3	4
ดินซีเมนต์ (%)	100	75	50	25
หินคลุก (%)	0	25	50	75
ปริมาณปูนซีเมนต์ (%)	5.50	4.80	**3.50**	3.30
UCS. (ksc) @ 1 Day	9.800	11.270	12.245	13.965
UCS. (ksc) @ 3 Day	12.495	13.230	14.705	17.155
UCS. (ksc) @ 5 Day	20.090	20.825	20.835	21.565
UCS. (ksc) @ 7 Day	24.745	24.980	**25.230**	25.725
UCS. (ksc) @ 14 Day	24.990	25.725	26.215	26.950
UCS. (ksc) @ 28 Day	25.740	26.965	27.930	28.175

ตารางที่ 4 ค่า UCS ของตัวอย่างที่ต้องการ ที่ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน

อัตราส่วนที่	1	2	3	4
ดินซีเมนต์ (%)	100	75	50	25
หินคลุก (%)	0	25	50	75
ปริมาณปูนซีเมนต์ (%)	5.90	5.10	**4.00**	3.70
UCS. (ksc) @ 1 Day	9.850	11.280	12.255	13.970
UCS. (ksc) @ 3 Day	12.600	13.240	14.710	17.165
UCS. (ksc) @ 5 Day	24.750	24.970	**25.245**	25.730
UCS. (ksc) @ 7 Day	24.995	25.735	26.220	26.960
UCS. (ksc) @ 14 Day	25.735	26.960	27.930	28.190
UCS. (ksc) @ 28 Day	26.505	27.350	28.255	28.605

จากตารางที่ 3 และ 4 เมื่อได้ทำการเปรียบเทียบค่า UCS ของตัวอย่างที่ต้องการเพื่อให้ได้ค่ากำลังอัด เท่ากับ 24.50 ksc ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 7 และ 5 วัน ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนของหินคลุกและปริมาณของปูนซีเมนต์ที่เติมลงไป จะมีผลต่อค่ากำลังการรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังใช้ระยะเวลาในการบ่มที่เร็วขึ้นด้วย [9]

6. สรุปผลการศึกษา

จากการทดสอบการนำเอาวัสดุชั้นพื้นทางดินซีเมนต์เดิมมาทำการปรับปรุงคุณภาพ โดยผสมเข้ากันกับหินคลุกและเติมปูนซีเมนต์ เพื่อต้องการให้มีค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) ที่เพิ่มสูงขึ้น ตามอัตราส่วนต่าง ๆ และใช้ระยะเวลาการบ่มแท่งตัวอย่างตามที่กำหนด ดังที่ได้ทำการออกแบบจำนวน 4 รูปแบบ และพิจารณาคัดเลือกเอาตัวอย่างที่มีความเหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการบูรณะซ่อมแซมถนน บนทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง - เข็กน้อย ช่วงกม.250+755 - กม.280+855 ใน จ.พิษณุโลก ที่เกิดความเสียหายหนักจนถึงชั้นพื้นทาง สามารถจะสรุปผลของการทดลองได้ดังนี้

ค่ากำลังอัดแกนเดียวของแท่งตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบแท่งตัวอย่างจำนวน 144 ตัวอย่าง พบว่ารูปแบบที่ 3 ที่อัตราส่วนระหว่าง ดินซีเมนต์ : หินคลุก ร้อยละ 50 : 50 และเติมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ประมาณ 4% ของน้ำหนักดิน ใช้ระยะเวลาการบ่มที่ 5 วัน มีค่ากำลังอัดแกนเดียวที่เหมาะสม ซึ่งค่ากำลังอัดแกนเดียวที่ได้ มีค่าไม่น้อยกว่ามาตรฐานของกรมทางหลวง (24.50 ksc) สามารถรับกำลังอัดและนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้จริง นอกจากจะได้อัตราส่วนผสมของวัสดุที่มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานแล้วนั้น ยังจะช่วยลดจำนวนการใช้หินคลุก ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด และยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการก่อสร้าง เนื่องจากเป็นการนำเอาวัสดุชั้นทางเดิมกลับมาใช้งานใหม่ อีกทั้ง ยังสามารถนำไปใช้กับถนนในสายทางอื่นที่มีชั้นพื้นทางเป็นดินซีเมนต์ เพื่อเป็นแนวทางในการบูรณะซ่อมแซมต่อไปได้

7. ข้อเสนอแนะ

ระหว่างการปรับปรุงซ่อมแซมชั้นพื้นทางที่เกิดความเสียหายนั้น ในขั้นตอนการบดอัดวัสดุผสมเพิ่ม และเติมปูนซีเมนต์เข้าไปแทนที่ เป็นชั้นพื้นทางใหม่ ตามรูปแบบที่เหมาะสมตามการทดลอง นอกจากการเลือกใช้วัสดุที่ดีมีคุณภาพตามมาตรฐานทุกประการแล้ว ก็ควรจะต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นที่อาจส่งผลต่อคุณสมบัติในการรับแรงของวัสดุที่ผสมลงไปแทนที่ นั่นก็คือการควบคุมการก่อสร้าง และขั้นตอนในการก่อสร้างที่มีความถูกต้องตรงตามแบบมาตรฐานอย่างเคร่งครัด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ กรมทางหลวงที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับบทความนี้ และขอขอบคุณสำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก) ที่อนุเคราะห์และเอื้อเฟื้อสถานที่ทดสอบฯ คุณสิริพงศ์ บุญจันทร์ วิศวกรโยธาชำนาญการ ตลอดจนบุคลากรทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะและข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

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

[2] กรมทางหลวง (2515). วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน. กระทรวงคมนาคม, มาตรฐานที่ ทล.-ท. 105/2515.

[3] กรมทางหลวง (2517). วิธีการทดลองหาค่า Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน. กระทรวงคมนาคม, มาตรฐานที่ ทล.-ท. 108/2517.

[4] กรมทางหลวง (2544). มาตรฐานพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Base). กระทรวงคมนาคม, มาตรฐานที่ ทล.-ม. 201/2544.

[5] กรมทางหลวง (2556). มาตรฐานพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base). กระทรวงคมนาคม, มาตรฐานที่ ทล.-ม. 203/2556.

[6] กรมทางหลวง (2543). มาตรฐานกรมทางหลวง. การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement Recycling), กระทรวงคมนาคม, มาตรฐานที่ ทล.-ม. 213/2543.

[7] กลุ่มงานตรวจสอบและแนะนำวัสดุสร้างทาง (2557). การออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์. สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ, กรมทางหลวง.

[8] วสันต์ ปั้นสังฆ์, บารเมศ วรรธนะภูติ, กฤษณะ เพ็ญสมบูรณ์ และ จิรโรจน์ ศุกุลรัตน์ (2553). คุณสมบัติด้านความคงทนและแข็งแรงของวัสดุชั้นพื้นทางที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์. *วิศวกรรมสาร มก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, ฉบับที่ 74.

[9] Ruenkrairergsa, T. (1982). *Principle of Soil Stabilization*, Bangkok, Highways Department, pp.17-27.