การปรับปรุงคุณภาพเศษคอนกรีตด้วยไฮดรอลิกซีเมนต์สำหรับวัสดุงานทาง
Stabilization of Recycled Concrete with Hydraulic Cement for Highway Materials

กมลวรรณ วงษ์ขันธ์[1,*] กฤษฎา บุญรัตน์[2] และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์โชคชัย ไตรยสุทธิ์[3]

[1,2] นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีโยธาและสถาปัตยกรรม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จ.ศรีสะเกษ
[3] อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธาและสถาปัตยกรรม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จ.ศรีสะเกษ
E-mail address: kamonwan.wong62@sskru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังอัดแบบไม่ถูกจำกัดของเศษคอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยไฮดรอลิกซีเมนต์ เพื่อใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างทาง ใช้เศษคอนกรีตบดละเอียดที่มีขนาดคละตามมาตรฐานของกรมทางหลวง กำหนดปริมาณไฮดรอลิกซีเมนต์ 1%, 2%, 3%, 4% และ 5% โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบตัวอย่างแบบสูงกว่ามาตรฐานเพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง 7 และ 14 วัน ก่อนทดสอบนำไปแช่น้ำ 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทดสอบกำลังอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined compressive strength, UCS) ตามมาตรฐานการออกแบบชั้นทางของกรมทางหลวง ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดที่ร้อยละ 12 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.99 gm/ml. กำลังอัดของเศษคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณไฮดรอลิกซีเมนต์และอายุการบ่มที่มากขึ้น โดยมีกำลังอัดสูงสุดที่ปริมาณไฮดรอลิกซีเมนต์ 5% อายุการบ่ม 14 วัน มีค่าเท่ากับ 49.0 ksc และปริมาณไฮดรอลิกซีเมนต์ที่เหมาะสมในการออกแบบและใช้เป็นชั้นรองพื้นทางตามมาตรฐาน ทล.-ม 204/2556 อยู่ที่ ร้อยละ 2.5 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เศษคอนกรีตเหลือทิ้งที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยไฮดรอลิกซีเมนต์ผ่านเกณฑ์วัสดุชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวง ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเศษคอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยไฮดรอลิกซีเมนต์นำกลับมาใช้ในการก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง

คำสำคัญ: ไฮดรอลิกซีเมนต์, ชั้นรองพื้นทาง, เศษคอนกรีต

Abstract

The aim of this research is to study the unconfined compressive strength of recycled concrete stabilized with hydraulic cement for road construction materials and recycled concrete blended with grain size distribution test. The various types of hydraulic cement are 1%, 2%, 3%, 4%, and 5% by weight, and the modified proctor test to optimize water content, curing at room temperature for 7 and 14 days. The samples are taken to soak for 2 hours prior to testing unconfined compressive strength. The result was found to be that the optimization water content was 12%, the maximum dry density was 1.991 gm/mL, and unconfined compressive strength increase was cured for periods. The maximum unconfined compressive strength of hydraulic cement at 5% and cured for 14 days was 49 ksc, and the optimized hydraulic cement was 2.5% for subbase design according to standard, DH–S 204/2556, Department of Highway, Thailand. It is possible to reuse recycled concrete stabilized with hydraulic cement in subbase course materials.

Keywords: Hydraulic cement, Subbase course materials, Recycled concrete

1. บทนำ

วัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางถนนตามมาตรฐานการก่อสร้างทางของกรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบทจะใช้วัสดุอยู่สองชนิด คือ หินคลุก และดินลูกรัง ในการเลือกใช้วัสดุใดนั้นจะพิจารณาจากคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดและต้นทุนเป็นหลัก การพิจารณาวัสดุนำมาใช้งานจะพิจารณาจากแหล่งวัสดุในท้องถิ่นบริเวณไม่ไกลจากแหล่งก่อสร้างเพื่อสะดวกและลดต้นทุนในการขนส่ง ทั้งนี้กรมทางหลวงได้นำเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพวัสดุงานทางด้วยซีเมนต์มากว่า 30 ปี สำหรับงานชั้นพื้นทาง (Base) และชั้นรองพื้นทาง (Subbase) การลดต้นทุนการก่อสร้างถนนด้วยการพิจารณาคัดเลือกวัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นและใกล้กับบริเวณโครงการก่อสร้างมากที่สุดแล้วนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์หรือสารเคมีผสมเพิ่ม ล้วนต้องการแก้ปัญหาเรื่องการขาดแคลนวัสดุ ต้นทุน และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และหากสามารถนำวัสดุกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้โดยเฉพาะการก่อสร้างซึ่งการหมุนเวียนวัสดุกลับมาใช้ด้วยการปรับปรุงคุณสมบัติให้สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ จะช่วยลดต้นทุนได้อีกทาง การนำวัสดุกลับมาหมุนเวียนใช้ในการก่อสร้างใน

ปัจจุบันเป็นที่นิยมอย่างมากเนื่องจากวัสดุหลักเริ่มขาดแคลนและมีต้นทุนที่สูงขึ้น การนำวัสดุเก่ากลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดเป็นโจทย์ในการทำวิจัยของนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศต่างคิดค้นหาวัสดุที่ได้มาตรฐานเดียวกันและสามารถทดแทนวัสดุหลักได้โดยที่ยังคงมาตรฐานด้านคุณภาพในการใช้งานไว้เช่นเดิม การขาดแคลนวัสดุในการก่อสร้างทางเป็นปัญหาอย่างมากเนื่องจากการก่อสร้างถนนต้องใช้วัสดุในการก่อสร้างโครงสร้างถนนในปริมาณมากจึงได้มีการนำวัสดุเก่ากลับมาใช้มากขึ้นด้วยการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการก่อสร้างมาใช้ในการก่อสร้างพื้นทางหินคลุกตามมาตรฐานของ ASSHTO, ASTM และกรมทางหลวงเพื่อหาความเป็นไปได้ของการนำวัสดุหมุนเวียนกลับมาใช้งานอีกครั้ง ดังเช่นนักวิจัย [1-2] ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น ปูนซีเมนต์ น้ำยางพาราธรรมชาติ หรือสารผสมเพิ่ม ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาวิธีการออกแบบและปรับปรุงชั้นรองพื้นทางไปถึงการนำเอาวัสดุเหลือใช้มาทำการปรับปรุงสมบัติ ให้มีสมบัติทางวิศวกรรมใกล้เคียงกับวัสดุมาตรฐานซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการขนส่งวัสดุจากแหล่งอื่น และช่วยแก้ปัญหาในการขาดแคลนวัสดุ [3-4] ปัญหาขยะจากอุตสาหกรรมของประเทศไทยเป็นปัญหาที่สำคัญและยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามความต้องการของมนุษย์ [5] จากการขยายตัวของชุมชน ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศเป็นอัตรายต่อสุขภาพอนามัย รวมถึงกระทบต่อสภาวะอากาศของโลก ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน การนำเศษคอนกรีตกลับมาใช้ในการก่อสร้างในปัจจุบันเป็นที่นิยมเนื่องจากมีการรื้อถอน (Demolition) โครงสร้างอาคาร ถนน ฯ อย่างมากในปัจจุบันจึงทำให้เศษคอนกรีตมีปริมาณมากตามมาเช่นกันมีปัญหาในการเคลื่อนย้ายไปทิ้งเนื่องจากมีต้นทุนในการขนส่งสูงรวมถึงปัญหาด้านมลพิษ

ในส่วนของการนำคอนกรีตเก่าที่ใช้แล้วกลับมาใช้โดยทำการวิจัยเป็นวัสดุในการก่อสร้าง เช่นแทนมวลรวมหยาบในวัสดุที่ใช้เป็นท่อคอนกรีตไม่เสริมเหล็กดังเช่นการวิจัยของ [6] นำคอนกรีตเก่าแทนที่มวลรวมหยาบซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่ากำลังอัดลดลงตามสัดส่วนของการแทนที่ และสามารถแทนที่ได้สูงสุดร้อยละ 80 ของมวลรวมธรรมชาติ ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในส่วนของงานวิจัยที่ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษคอนกรีตมาปรับปรุงคุณภาพสำหรับวัสดุงานทางเช่น [7-8] โดยการใช้ไฮดรอลิกซีเมนต์มาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการแข็งตัวและทำให้กำลังอัดเกิดการทนทานสูงขึ้น จากนั้นทำการทดสอบหากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength) ผ่านมาตรฐานของกรมทางหลวง ในส่วนของการนำเศษคอนกรีตมาผสมกับลูกรังที่คุณภาพต่ำและปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ร้อยละ 5 ในทุกอัตราส่วนทดสอบเพื่อทดสอบหาค่า C.B.R. จากการทดสอบดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ผสมเศษคอนกรีตผ่านเกณฑ์ชั้นรองพื้นทางตามมาตรฐานวัสดุชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวงทุกอัตราส่วนผสม และมีกำลังอัดสูงขึ้นตามจำนวนครั้งในการบดอัด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำเศษคอนกรีตใช้เป็นวัสดุร่วมในการก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง [9] และอีกหนึ่งงานวิจัยที่น่าสนใจเป็นอย่างมากคือ การนำเอาไฮดรอลิกซีเมนต์มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุงานทาง เนื่องจากไฮดรอลิกซีเมนต์มีคุณสมบัติการให้กำลังที่เร็วและสูงกว่าซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 (OPC) ซึ่งในปัจจุบันก็นิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้างมากขึ้น รวมทั้งกรมทางหลวงอนุโลมให้ใช้ไฮดรอลิกซีเมนต์ในการก่อสร้างทางตามมาตรฐานกรมทางหลวงเพิ่มเติมจาก ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 (OPC) ซึ่งส่วนประกอบของซีเมนต์ไฮดลอลิกชนิดใช้งานทั่วไป (GU) มีส่วนประกอบจากปูนเม็ด ยิปซั่ม แคลเซียม และสารผสมเพิ่มความแข็งแรง ได้คุณภาพตาม มอก.2594-2556 โดยอนุภาคของไฮดรอลิกซีเมนต์นั้นจะเรียงตัวอย่างหนาแน่นเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 (OPC) [10] คุณสมบัติเด่นอีกประการของไฮดรอลิกซีเมนต์คือกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในกระบวนการผลิตที่ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงเป็นที่น่าสนใจหากจะนำซีเมนต์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาปรับปรุงคุณภาพของเศษคอนกรีตเหลือทิ้งจะช่วยทำให้มลพิษในกระบวนการก่อสร้างลดลงได้อีกทางหนึ่ง

ดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษคอนกรีตมาปรับปรุงคุณภาพสำหรับวัสดุรองพื้นทาง โดยการใช้ไฮดรอลิกซีเมนต์มาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการแข็งตัวและทำให้กำลังอัดที่สูงขึ้น จากนั้นทำการทดสอบหากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength) ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง งานวิจัยนี้จึงเป็นวัสดุทางเลือกวัสดุทดแทน และช่วยแก้ปัญหาวัสดุขาดแคลน ลดปริมาณขยะจากอุตสาหกรรมก่อสร้าง และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2. วัสดุและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุ

2.1.1 เศษคอนกรีต

เศษคอนกรีต หรือ คอนกรีตเหลือทิ้งจากการก่อสร้าง (Recycled Concrete) ใช้คอนกรีตเหลือทิ้งจากโครงการก่อสร้างที่ทำการทดสอบกำลังอัดจากเครื่องทดสอบแล้วเหลือเป็นเศษโดยขอความอนุเคราะห์วัสดุเศษคอนกรีตเหลือทิ้งจาก CPAC ในเขตพื้นที่จังหวัดศรีสะเกษและจังหวัดใกล้เคียงซึ่งคละขนาดของกำลังอัด นำมาทุบด้วยค้อนให้เป็นเศษเล็ก ๆ ขนาด 5 – 10 ซม. และบดด้วยเครื่อง Los Angeles Abrasion ทำการบดที่ 200 รอบเพื่อให้อนุภาคเล็กลง หลังจากนั้นทำการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4” เศษคอนกรีตที่นำมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 เศษคอนกรีตที่ใช้ในการวิจัย

2.1.2 ไฮดรอลิกซีเมนต์

เป็นไฮดรอลิกซีเมนต์ที่ผลิตตามมาตรฐานคุณภาพ มอก.2594-2556 และมีวางขายโดยทั่วไปตามท้องตลาด ไฮดรอลิกซีเมนต์ที่ใช้ ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 ไฮดรอลิกซีเมนต์

2.1.3 น้ำ

น้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาคมีค่า pH ประมาณ 7

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 1 นำเศษคอนกรีตที่ได้มาวิเคราะห์หาค่า PL, LL, และ PI

ขั้นตอนที่ 2 นำเศษคอนกรีตที่ร่อนผ่านตระแกรงเบอร์ 3/4” มาทำการบดอัดตามมาตรฐาน Modified Compaction Test เพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและพลังงานในการบดอัด ซึ่งจากการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น Optimum Moisture Content (OMC) มีค่า 12.2%

ขั้นตอนที่ 3 จากความชื้นที่เหมาะสมที่ได้ทำการบดอัดเศษคอนกรีตตามมาตรฐาน Modified Compaction Test โดยเพิ่มปริมาณไฮดรอลิกซีเมนต์ที่ร้อยละ 1 – 5

วิธีการกำหนดสัดส่วน มีดังนี้

นำเศษคอนกรีตมาทำให้แห้ง โดยวิธีการตากแดด เมื่อแห้งนำเศษคอนกรีตร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4” และทำการชั่งเศษคอนกรีต 3,000 กรัม การกำหนดเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ กำหนดไม่น้อยกว่า 4 ค่า การกำหนดค่าร้อยละซีเมนต์ในการทดลองผสม สำหรับชั้นทางต่าง ๆ ดังนี้ [11]

- ชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ กำหนดเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ในช่วง 1 – 3%
- ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ กำหนดเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ในช่วง 1 – 5%
- ชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ กำหนดเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ในช่วง 1 – 5%

ในการวิจัยในครั้งนี้ทำการกำหนดปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 1 – 5 เพื่อให้ครอบคลุมชั้นทางทั้งสามชนิด ประกอบด้วย ชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ และชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ เพื่อให้ได้ข้อมูลประกอบการพิจารณาคัดเลือกปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสม และพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการก่อสร้างชั้นทางตามมาตรฐานกรมทางหลวง การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม ได้จากการทดลอง Modified Compaction Test ของเศษคอนกรีต จากการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำที่เหมาะสมอยู่ที่ 12.2% ดังรูปที่ 5 เมื่อคิดปริมาณน้ำจากเศษคอนกรีตในการหล่อตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบน้ำหนัก 3,000 กรัม ได้ปริมาณน้ำที่ใช้บดอัดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 240 มิลลิลิตร โดยกำหนดสัดส่วนและจำนวนตัวอย่างการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของไฮดรอลิกซีเมนต์และปริมาณน้ำของเศษคอนกรีต

ตัวอย่าง	เศษคอนกรีต (g)	ไฮดรอลิกซีเมนต์ (%)	ปริมาณน้ำ (mL.)	จำนวนตัวอย่างทดสอบที่ 7-14 วัน
SC-RC-A	3,000	1	240	3-3
SC-RC-B	3,000	2	240	3-3
SC-RC-C	3,000	3	240	3-3
SC-RC-D	3,000	4	240	3-3
SC-RC-E	3,000	5	240	3-3

*** SC-RC คือ ตัวอย่างทดสอบ การปรับปรุงเศษคอนกรีตด้วยไฮดรอลิกซีเมนต์*

ขั้นตอนที่ 4 บ่มตัวอย่างทดสอบที่อุณภูมิห้องที่ 7 และ 14 วัน

ขั้นตอนที่ 5 แช่ตัวอย่างทดสอบในน้ำ 2 ชั่วโมงก่อนทำการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 6 ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด Unconfined compressive stress (UCS) ที่ระยะการบ่ม 7 – 14 วัน

2.3 มาตรฐานการทดสอบ

การวิจัยในครั้งนี้ทาการทดสอบวัสดุชั้นรองพื้นทางตามมาตรฐานของกรมทางหลวงซึ่งการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มาตรฐานการทดสอบ

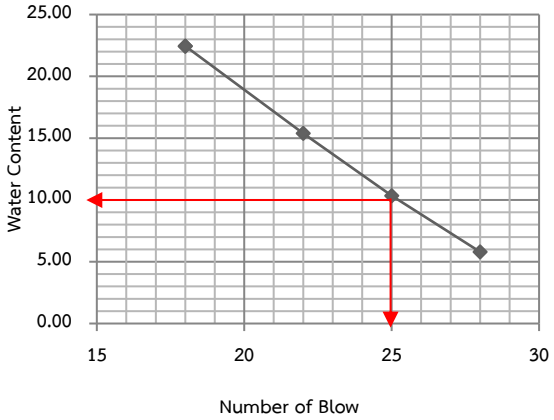
การทดสอบ	มาตรฐาน
การทดสอบหาค่าความถ่วงจาเพาะ	ทล.-ท 101/2515
การทดสอบหาขนาดคละของเม็ดดิน	ทล.-ท 205/2517
การทดสอบหาค่า Liquid Limit (LL.)	ทล.-ท 102/2515
การทดสอบหาค่า Plastic Limit (PL.), Plastic Index (PI.)	ทล.-ท 103/2515
การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน	ทล.-ท 108/2517
การทดสอบ Unconfined Compressive Strength (UCS)	ทล.-ท 105/2515

สถานที่ในการเตรียมตัวอย่างและทดสอบคือ ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ และหน่วยวิเคราะห์และตรวจสอบสำนักทางหลวงที่ 9 อุบลราชธานี

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการวิเคราะห์ค่า PL, LL, และ PI

ผลการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเหลว ขีดจำกัดความเหลวและขีดจำกัดความเป็นพลาสติก ของเศษคอนกรีตหลังจากทำการบด แสดงได้ดังรูปที่ 3

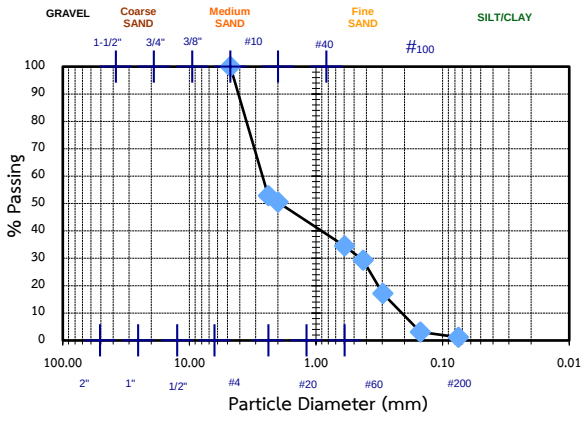


รูปที่ 3 ค่าขีดจำกัดความเหลวของเศษคอนกรีต

จากรูปที่ 3 จะได้ค่าขีดจำกัดความเหลวของเศษคอนกรีตที่ ร้อยละ 10 และจากการทดสอบค่าขีดจำกัดความเป็นพลาสติกของเศษคอนกรีตพบว่าไม่สามารถคลึงเศษคอนกรีตให้เป็นเส้นได้นั่นคือ เศษคอนกรีตจะเป็นวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติของความยืดหยุ่น Non plastic (NP) เนื่องจากเศษคอนกรีตที่ได้มาจากคอนกรีตเก่าที่ส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย และหิน ซึ่งวัสดุทั้งสามชนิดจะไม่มีความเหนียว ดังนั้นเศษคอนกรีตในการวิจัยค่า Plastic index (PI) จึงมีค่าเท่ากับ 0

3.2 การวิเคราะห์ขนาดคละของเศษคอนกรีตที่ใช้ในการวิจัย

หลังจากที่บดเศษคอนกรีตด้วยเครื่อง Los Angeles Abrasion แล้วนำมาวิเคราะห์ขนาดคละ Sieve analysis ผลการวิเคราะห์ขนาดคละของเศษคอนกรีตเป็นดังรูปที่ 4

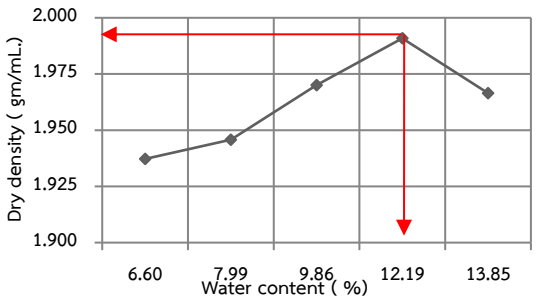


รูปที่ 4 การวิเคราะห์ขนาดของเศษคอนกรีต

จากการวิเคราะห์ขนาดของเศษคอนกรีตหลังจากที่ทำการบดด้วยเครื่อง Los Angeles Abrasion พบว่า เศษคอนกรีตจัดอยู่ในประเภทกรวด Fine sand to Medium sand

3.3 การทดสอบการบดัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานเพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม พบว่า ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม Optimum Moisture Content (OMC) อยู่ที่ร้อยละ 12.2 และมีความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ 1.991 gm/ml. ดังรูปที่ 5



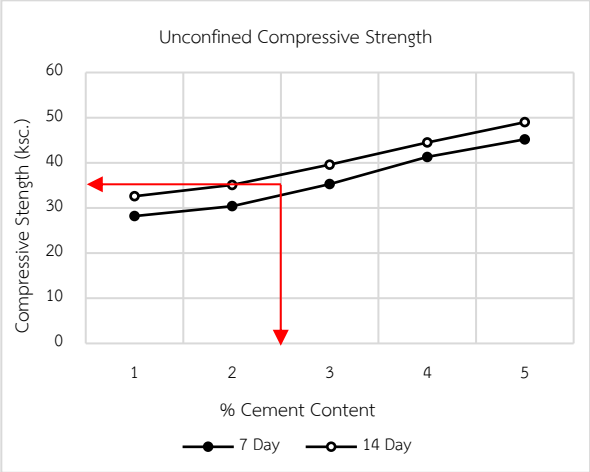
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุด

3.4 การวิเคราะห์ค่ากำลังอัดแบบไม่ถูกจำกัด

การวิเคราะห์ค่ากำลังของวัสดุด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่ากำลังอัดแบบไม่ถูกจำกัดเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการหาปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมในการออกแบบชั้นทางของกรมทางหลวง ในการวิจัยในครั้งนี้จึงได้ทำการวิจัยตามขั้นตอนมาตรฐานการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ [11] ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และตรวจสอบสำนักทางหลวงที่ 9 อุบลราชธานี

รูปที่ 6 การทดสอบกำลังอัดแบบไม่ถูกจำกัด

การทดสอบกำลังอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) ที่ระยะการบ่มแห้งที่อุณหภูมิห้องที่ 7 และ 14 วัน เป็นดังรูปที่ 6



รูปที่ 7 ค่ากำลังอัดแบบไม่ถูกจำกัด 7 และ 14 วัน

การออกแบบส่วนผสมจะทำการผสมดินและซีเมนต์ที่ปริมาณซีเมนต์ต่าง ๆ กัน ณ ปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content (OMC) แล้วบดอัดส่วนผสมเพื่อทำแท่งตัวอย่างด้วยวิธี Modified Compaction หลังจากนั้นทำการบ่มตัวอย่างในถุงพลาสติกเป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบอายุบ่ม นำตัวอย่างไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด Unconfined Compression Test ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างชั้นทางดินซีเมนต์นั้น จะต้องให้ค่ากำลังรับแรงอัด Unconfined Compressive Strength (UCS) ที่อายุ 7 วัน ของชั้นทางแต่ละชั้น เป็นดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 มาตรฐานและข้อกำหนดในการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง [11]

มาตรฐาน / ชั้นทาง	กำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7 วัน (UCS)
ทล-ม. 203/2532 – ชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base)	ไม่น้อยกว่า 24.6 ksc
ทล-ม. 204/2533 - ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base)	ไม่น้อยกว่า 17.5 ksc
ทล-ม. 206/2532 - ชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase)	ไม่น้อยกว่า 7.0 ksc

ซึ่งจากรูปที่ 7 จะเห็นว่ากำลังอัดที่ 7 และ 14 วันของตัวอย่างทดสอบมีค่าใกล้เคียงกันและหากพิจารณาปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมตามการออกแบบชั้นทางที่กรมทางหลวงแนะนำคือ ร้อยละ 2.5 จะพบว่า จากการทดสอบในการวิจัยในครั้งนี้ ได้ค่ากำลังอัดที่ 35 ksc สามารถผ่านมาตรฐานวัสดุงานทางของกรมทางหลวงทั้งสามชั้นทาง

3.5 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองหากพิจารณาการนำวัสดุกลับมาใช้โดยที่ยังไม่พิจารณาเรื่องของต้นทุนในการดำเนินการต่าง ๆ แล้ว วัสดุเก่าที่สามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพและสามารถนำกลับมาใช้งานและผ่านเกณฑ์มาตรฐานการก่อสร้างชั้นทางได้ถือว่าเป็นเรื่องที่จะต้องทำการวิจัยและต่อยอดความรู้อย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นการกำจัดของเสียให้หมดไป การนำกลับมาหมุนเวียนใช้ได้อีกครั้งอย่างมีประสิทธิภาพ หรือกำจัดให้มีปริมาณน้อยที่สุด ซึ่งจากผลการวิจัยจากนักวิจัย เช่น [1] ที่ทำการปรับปรุงคุณภาพวัสดุชั้นรองพื้นทางที่ต่ำกว่ามาตรฐานโดยใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์และยิปซั่มเอฟพีจีดี ซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรม และได้ผลกำลังอัดแกนเดียวที่สอดคล้องกับการวิจัยในครั้งนี้ และรวมถึงงานวิจัยของ [8] ที่ใช้เถ้าก้นเตาที่เป็นกากของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตกระแสไฟฟ้าเช่นเดียวกันแทนที่ดินลูกรังในงานวัสดุงานทาง ซึ่งหากการบดอัดและความชื้นที่เหมาะสมแล้วจะสามารถใช้ทดแทนและเป็นวัสดุงานทางตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงได้ เช่นเดียวกับการวิจัยในครั้งนี้ซึ่งจากการนำวัสดุที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมก่อสร้างแล้วนำมาปรับปรุงคุณภาพและทดสอบตามเกณฑ์ของกรมทางหลวงแล้วยืนยันได้ว่าสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานและสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุงานทางได้เช่นเดียวกับหลาย ๆ งานวิจัย เช่น [4-5] และ [9] ซึ่งจากผลการวิจัยก็เป็นไปในทิศทางเดียวกันคือเมื่อปรับปรุงคุณภาพของเศษวัสดุด้วยวิธีการต่าง ๆ แล้ว สามารถนำเศษวัสดุเหล่านั้นกลับมาใช้งานได้อีกครั้งตามเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวง

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า

1. การนำเศษคอนกรีตมาปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการวิจัยในครั้งนี้สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานการก่อสร้างชั้นทางทั้งสามชั้นทางของกรมทางหลวง

2. การปรับปรุงคุณภาพเศษคอนกรีตด้วยไฮดรอลิกซีเมนต์ทำให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวของเศษคอนกรีตสูงขึ้นตามอายุการบ่มที่ 7 และ 14 วัน ตามลำดับ โดยมีค่ากำลังอัดสูงสุดที่ 49 ksc ที่อายุการบ่ม 14 วัน

3. การออกแบบชั้นทางตามมาตรฐานกรมทางหลวงโดยใช้ปริมาณไฮดรอลิกซีเมนต์ที่เหมาะสมที่ร้อยละ 2.5 ตามมาตรฐานการออกแบบชั้นทางของกรมทางหลวง ได้ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่ 35 ksc สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ และชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์

4. คุณสมบัติของเศษคอนกรีตเหลือทิ้งจากการวิจัยในครั้งนี้หากนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยไฮดรอลิกซีเมนต์เป็นการลดมลพิษจากทั้งด้านอุตสาหกรรมก่อสร้างและอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ได้อีกทาง เนื่องจากการผลิตไฮดรอลิกซีเมนต์นับได้ว่าเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่ชั้นบรรยากาศ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณสำนักทางหลวงที่ 9 อุบลราชธานีและห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษที่เอื้อเฟื้อสถานที่ห้องปฏิบัติการในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] เบญจรัชต์ บุญธิฟอง, ชยานนท์ หรรษภิญโญ, ปิยะพงษ์ วงศ์เมธา และพีรพงศ์ จิตเสงี่ยม (2560). การปรับปรุงวัสดุชั้นรองพื้นทางที่ต่ำกว่ามาตรฐาน โดยการใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ และยิปซัมเอฟจีดี. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, ปีที่ 24, ฉบับที่ 2, หน้า 139-151

[2] ไอรดาภรณ์ หาดแก้ว, กรกฎ นุสิทธิ์, ทวีศักดิ์ แตะกระโทก และพีรพงศ์ จิตเสงี่ยม (2563). คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินซีเมนต์ผสมยางพาราและดินซีเมนต์ผสมยางสไตรีนอะคริลิค. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563, หน้า 1354-1359.

[3] เพทาย อุตราช, เสริมศักดิ์ ติยะแสงทอง, เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์, ชยกฤต เพชรช่วย, จักษดา ธำรงวุฒิ และวิศิษฏ์ศักดิ์ ทับยัง (2563). กำลังอัดของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานปรับปรุงด้วยเถ้าขยะ จีโอโพลีเมอร์. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563, หน้า 1470-1473.

[4] ทวีศักดิ์ ปิติคุณพงศ์สุข, สุนิต ประเวระทัง (2563). ศักยภาพการนำเถ้าชานอ้อยผสมซีเมนต์มาใช้ทดแทนวัสดุในงานทาง. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, ปีที่ 31, ฉบับที่ 2, หน้า 93-103.

[5] วรรณวรางค์ รัตนานิคม, สยาม ยิ้มศิริ (2561). การใช้ตะกอนที่ได้จากการขุดลอกทะเลเป็นวัสดุทดแทนในงานทาง. *วารสาร มทร. อีสาน*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 2, หน้า 56-72.

[6] สุภาพ ตรีธัญญา (2542).*การนำคอนกรีตที่ใช้แล้วกลับมาแทนวัสดุมวลหยาบในงานก่อสร้าง : กรณีศึกษางานท่อระบายน้ำคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก*.ปริญญาเอก.วิทยานิพนธ์, มหาวิยาลัยมหิดล, นครปฐม.

[7] ทวีศักดิ์ ปิติคุณพงศ์สุข (2556). การปรับปรุงหินคลุกด้อยคุณภาพเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุงานทาง. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, ปีที่ 24, ฉบับที่ 3, หน้า 1-7.

[8] พสิษฐ์ ตันดุลยกุล, วีรยา ฉิมอ้อย (2564). การใช้เถ้าก้นเตาแทนที่ดินลูกรังประเภทกรวดสำหรับวัสดุงานทาง. *วิศวสารลาดกระบัง*, ปีที่ 38, ฉบับที่ 2, หน้า 9-16

[9] โชคชัย ไตรยสุทธิ์ (2565). การศึกษาการนำเศษคอนกรีตมาใช้เป็นวัสดุร่วมในการก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 14, ฉบับที่ 27, หน้า 39-47.

[10] อิทธิพล มีผล, ฆนากานต์ มาศโอสถ, ปฐม คงคะดี (2563). กำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินเหนียวอ่อนปรับปรุงคุณภาพ. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, หน้า 48-55.

[11] กลุ่มงานตรวจสอบและแนะนำวัสดุสร้างทาง. การออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ สำนักงานวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, หน้า 1-33.