

การปรับปรุงหินคลุกด้วยคุณภาพเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุงานทาง

Utilization of Unqualified Crushed Rocks for Use as Road Construction Materials

ทวิศักดิ์ ปิตุคุณพงศ์สุข

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

โทร. 02-5797565 ต่อ 1303

E-mail: fengtwj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

หินคลุกจัดเป็นวัสดุสำคัญที่ใช้ในการก่อสร้างถนนทางราบ หินคลุกที่ใช้ในการก่อสร้างถนน ส่วนใหญ่เป็นหินปูนที่ได้จากการระเบิดภูเขาหิน อย่างไรก็ตาม การระเบิดภูเขาหินมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียง เช่น เสียงดัง ฝุ่นกระจาย เป็นต้น ปัญหาดังกล่าวส่งผลให้เกิดข้อจำกัดเพื่อลดการระเบิดภูเขาหิน ซึ่งก่อให้เกิดการขาดแคลนปริมาณวัสดุหินคลุกที่มีคุณภาพสูงเพื่อนำมาใช้ในการก่อสร้างชั้นทาง อย่างไรก็ตาม ในระหว่างขั้นตอนของอุตสาหกรรมการผลิตหินคลุกนั้น มีเศษหินบางส่วนที่มีขนาดอนุภาคเล็กไม่เหมาะสมในการนำมาบดอัดเพื่อเป็นชั้นทาง กล่าวคือ จัดได้ว่าเป็นวัสดุด้วยคุณภาพสำหรับงานก่อสร้างชั้นทาง งานวิจัยครั้งนี้ ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงหินคลุกปลายตะแกรงเหล่านี้โดยวิธีผสมด้วยซีเมนต์เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างชั้นทาง ผลการศึกษาดังแสดงในบทความนี้ได้ นำเสนอคุณสมบัติทางกายภาพ ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว ค่าแคลิฟอร์เนียแบบรีไรโซแบบแห้งของหินคลุกปลายตะแกรงและหินคลุกปลายตะแกรงผสมซีเมนต์ ผลการศึกษาแสดงว่า คุณสมบัติต่างๆ มีค่าสูงกว่าที่ค่าที่ถูกกำหนดไว้ตามมาตรฐานกรมทางหลวงในการนำมาก่อสร้างเป็นชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทาง

Abstract

Crushed rock is an important material for road construction. It is generally a mixture of various grain sizes of limestone obtained from mountain explosion. During the past recent years, the activity of mountain explosion is legally prohibited in many areas by Thai Government laws due to

environmental conservation issues. This causes the shortage in supplying the materials for road construction. This problem leads to the study for substitutive materials with environmental friendly concerns. This study aims to propose the possible uses of cement stabilization for improving unqualified crushed rock (i.e., gap-graded crushed rocks). In this study, the gap-graded crushed rocks were sampled from rock crushing plant in Saraburi. It was stabilized using cement. The effect of cement and water causes hydration reaction which results in cementation materials within soil mass. The cementation materials cement particles and dust together resulting in larger grain-sized particles with durable resistance. This improvement process provides the materials good enough for being sub-base and base course for roads. Experimental results show that physical properties of the untreated soils with appropriate has potentiality for the uses as sub-base and base courses according to the standards of Department of Highways (DOH) of Thailand. Results also show that the unconfined compressive strength (q_u) and soaked California bearing ratio (CBR) was obviously developed with the increased amount of cement.

1. บทนำ

ถนนจัดเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง และมีส่วนในการพัฒนาความเจริญของบ้านเมือง การสร้างถนนเข้าสู่ชนบทเป็นการนำความเจริญพัฒนาเข้าสู่หมู่บ้านห่างไกล เป็นการช่วยเหลือชาวไร่ ชาวนา ในการลำเลียงผลผลิต

นอกจากนี้ถนนยังเป็นส่วนสำคัญในเรื่องความมั่นคงของชาติ บ้านเมืองอีกด้วย ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างชั้นทาง จึงมีความสำคัญมาก ซึ่งจัดเป็นโครงสร้างซึ่งรองรับน้ำหนัก จากการจราจรบนชั้นผิวทาง วัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง เป็นโครงสร้างชั้นทางต้องผ่านมาตรฐานการตรวจสอบ คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรม อย่างไรก็ดี ตามความต้องการในการก่อสร้างทางที่เพิ่มมากขึ้นไปกับการขยายตัวในการพัฒนาประเทศ อีกทั้งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งได้มีการออกข้อบังคับในการระบิดูเขา ส่งผลโดยตรงต่ออุตสาหกรรมการผลิตหินคลุก และส่งผลให้เกิดการขาดแคลนวัสดุและปัญหาการคัดเลือกวัสดุที่มีคุณภาพในการนำมาก่อสร้างเป็นโครงสร้างชั้นทาง การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำวัสดุด้วยคุณภาพมาทำการปรับปรุง เพื่อให้มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมดีขึ้นและผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงในการนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับใช้ในการก่อสร้างเป็นโครงสร้างชั้นทาง วัสดุที่นำมาทำการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คือ หินคลุกปลายตะแกรง ซึ่งเป็นเศษวัสดุทางธรณีที่เหลือทิ้ง (By-product materials) จากอุตสาหกรรมการผลิตหินคลุก โดยทั่วไป หินคลุกปลายตะแกรง (Gap-graded crushed rocks) มีลักษณะเป็นเศษวัสดุที่มีขนาดละเอียด Gap-graded materials และมีความเหนียว และสภาพความเป็นพลาสติกต่ำ กล่าวคือ เป็นดินตามระบบ Unified Soil Classification System จัดอยู่ในกลุ่ม SM, GP, GM เป็นต้น [1-2]

งานวิจัยครั้งนี้ นำเสนอ ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินคลุกปลายตะแกรง และทำการปรับปรุงคุณสมบัติของหินปลายตะแกรงโดยการผสมด้วยซีเมนต์ เพื่อให้สารเชื่อมประสานที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์และน้ำเป็นตัวประสานมวลรวมละเอียดให้กลายเป็นมวลรวมที่มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและมีความคงทนเพียงพอในการนำมาใช้บดอัดเพื่อก่อสร้างเป็นชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทางของถนน หินคลุกปลายตะแกรงที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นหินที่ได้มาจากโรงโม่หินในจังหวัดสระบุรี ผลการทดลองคุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางวิศวกรรมที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ได้นำเสนอไว้ในส่วนของ

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยได้มีข้อเสนอแนะแนวทางในการศึกษาวิจัยเพื่อหาวัสดุทดแทนในการนำมาใช้เป็นวัสดุงานทางอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินคลุกปลายตะแกรงและหินคลุกปลายตะแกรงผสมซีเมนต์ เพื่อศึกษาแนวโน้มการพัฒนาทางด้านกำลังของวัสดุที่เกิดจากสารเชื่อมประสานที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างซีเมนต์และน้ำ ผลการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้จะได้มีการนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณสมบัติวัสดุของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย และมีการเสนอแนะแนวทางการใช้วัสดุทดแทนสำหรับงานทาง

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หินคลุกปลายตะแกรง (Gap-graded crushed rocks) จัดเป็นเศษวัสดุจำนวนมากที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการโม่หิน ในทางปฏิบัติโดยทั่วไป เรานำหินคลุกปลายตะแกรงเหล่านี้ไปใช้เป็นวัสดุดินถมเพื่อทำการปรับพื้นที่ให้สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงว่า คุณสมบัติทางกายภาพของหินคลุกปลายตะแกรงที่ได้หลังจากการโม่หินเหล่านี้ มีศักยภาพเพียงพอในการนำมาปรับปรุงเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างชั้นทาง อย่างไรก็ตามคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินคลุกปลายตะแกรงต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้โดยกรมทางหลวง สำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างชั้นทาง ดังนั้น จึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของหินคลุกปลายตะแกรงให้มีค่าเพียงพอก่อนจึงนำไปใช้งาน แนวทางการศึกษาครั้งนี้เป็นการนำเสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพหินคลุกปลายตะแกรงโดยวิธีการผสมด้วยซีเมนต์ [1-4] ปฏิกิริยาไฮเดรชัน ระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำที่ผสมเข้ากับหินคลุกปลายตะแกรง เป็นกระบวนการให้เกิดสารเชื่อมประสานจำพวก Calcium Silicate Hydrate (CSH) และ Calcium Aluminate Hydrate เป็นต้น สารเชื่อมประสานที่เกิดขึ้น ทำหน้าที่ ประสานมวลรวมต่างๆ ได้แก่ เศษกรวด

ทราย และเศษฝุ่น ให้เข้ากันจนเศษวัสดุเหล่านี้ กลายเป็นวัสดุมวลรวมที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นและมีความคงทนเพียงพอในการนำมาบดอัดเพื่อก่อสร้างเป็นชั้นทางได้ นอกจากนี้ ความแข็งแรงของหินคลุกปลายตะแกรงผสมซีเมนต์มีค่าสูงขึ้นตามอายุการบ่มอีกด้วย ปฏิริยาไฮเครชันปรากฏชัดเจนในช่วงอายุการบ่ม 7 วันแรก จากนั้น กำลังของหินปลายตะแกรงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงอายุการบ่ม 28 วัน [5-7] งานวิจัยได้แสดงผลการศึกษาการใช้ถั่วลอย ซึ่งจัดเป็นวัสดุปอชโซลาน ซึ่งมีการแสดงปฏิริยาระยะยาว ที่เรียกว่า ปฏิริยาปอชโซลานิก ซึ่งส่งผลให้เกิดสารเชื่อมประสานอย่างต่อเนื่องในช่วงหลังอายุการบ่ม 28 วัน [7]

4. วิธีการศึกษา

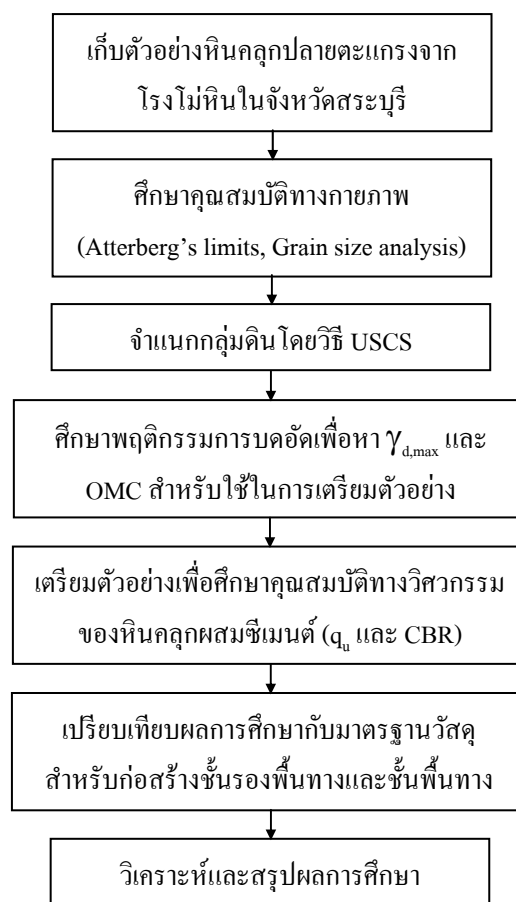
การศึกษาวิจัยครั้งนี้ แสดงตามขั้นตอนดังรูปที่ 1

5. ผลการศึกษาและการวิเคราะห์

5.1 คุณสมบัติทางกายภาพของหินคลุกปลายตะแกรง

หินคลุกปลายตะแกรง ที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นหินสีขาว และสีดำ รูปร่างหินเป็นเม็ดเหลี่ยมและมีดินเม็ดหยาบและดินเม็ดละเอียดปะปนอยู่ เมื่อนำตัวอย่างมาตรวจสอบพบว่า หินคลุกปลายตะแกรงมีดินเม็ดละเอียดผ่าน Sieve No.200 (เส้นผ่านศูนย์กลาง < 0.075 มม.) ปนอยู่ประมาณ 15% ผลการทดสอบค่าดัชนีของ Atterberg Limits ค่า Liquid Limit, Plastic Limit และค่า Plasticity Index บน Plasticity Chart แสดงว่าดินเม็ดละเอียดเหล่านี้ จัดเป็นดินประเภททรายแป้ง (silt)

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของหินคลุกปลายตะแกรง ประกอบด้วย การหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีตะแกรงร่อน การทดสอบ Atterberg's Limits และการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของหินคลุกปลายตะแกรงที่ใช้ในการศึกษานี้ ดินที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถจำแนกประเภทดินโดยวิธี Unified Soil Classification System (USCS) ได้เป็นกลุ่มดิน GW-GM หรือ กรวดขนาดคละดีและมีทรายแป้งผสม (Well graded gravels with silt)



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการศึกษา

จากตารางที่ 1 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างจากโรงโม่มีค่าเท่ากับ 1.5-2.0 % แสดงว่า ตัวอย่างหินมีความชื้นต่ำมากเนื่องจากมวลละเอียด (fines) ในหินตัวอย่างเป็นดินจำพวก Silty soil ซึ่งไม่อุ้มน้ำ ค่า Liquid Limit เท่ากับ 26.1% และค่า Plasticity Index เท่ากับ 6.9% ซึ่งไม่ได้ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดว่า Liquid Limit และ Plasticity Index ต้องมีค่าไม่เกิน 25% และ 6% ตามลำดับ [3] อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานข้อกำหนดมาก ดังนั้น วัสดุประเภทนี้ มีแนวโน้มในการนำมาใช้เป็นวัสดุงานทางได้ เมื่อได้รับการปรับปรุงคุณภาพอย่างเหมาะสม กล่าวคือ ตัวอย่างหินคลุกปลายตะแกรงที่ทำการผสมโดยใช้ซีเมนต์ 1-3% ไม่มีสภาพความเป็นพลาสติก (Non-Plastic) ซึ่งแสดงว่ามวลละเอียดมีการแปรสภาพไปเป็นเม็ดดินที่มีการดูดซับความชื้นได้ลดลง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดี

สำหรับวัสดุที่จะนำมาใช้ในการบดอัดเพื่อก่อสร้างเป็นชั้นทาง

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของหินคลุก
ปลายะแครงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

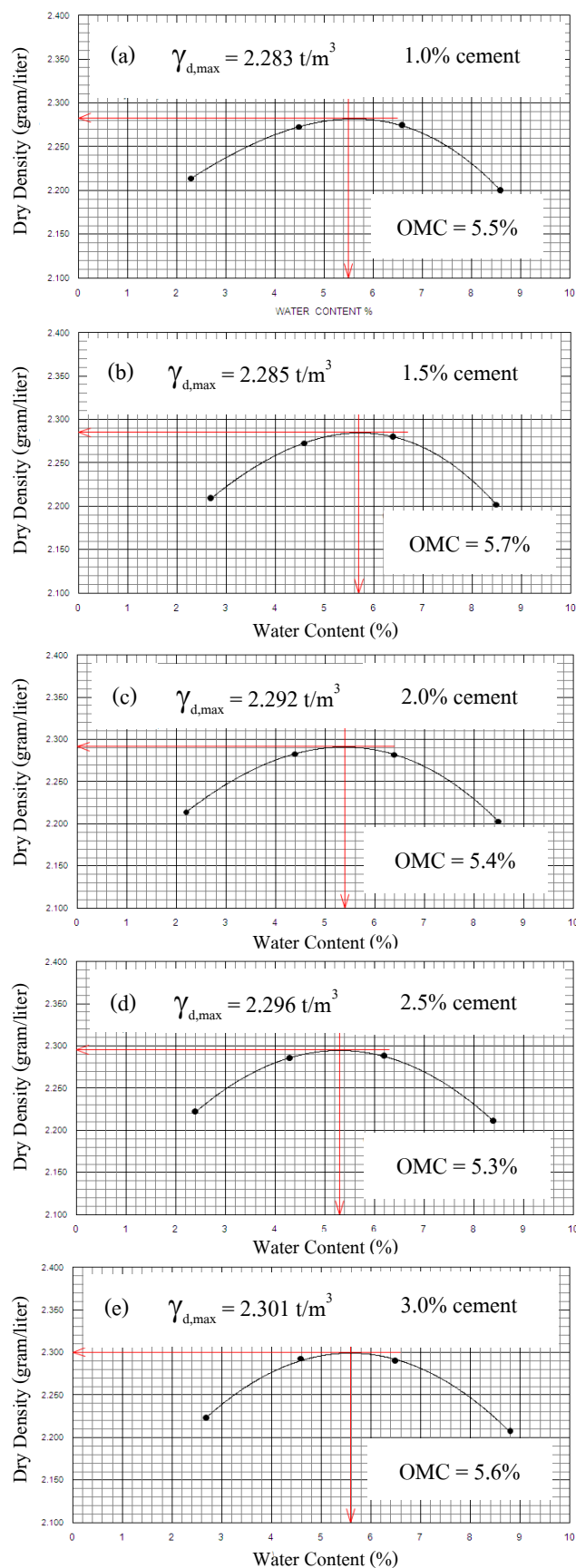
คุณสมบัติทางกายภาพ	ค่าที่ได้
Sampling moisture content	1.5 - 2.0 %
Liquid limit (LL)	26.1 %
Plastic limit (PL)	19.2 %
Plasticity index (PI)	6.9 %
Fine content (soil passing sieve no.200)	10 %
ความถ่วงจำเพาะ (G_s)	2.71
กลุ่มดินโดยวิธี USCS	GW-GM

5.2 คุณสมบัติทางวิศวกรรม

ผลการศึกษาทางด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินคลุกปลายะแครงและหินคลุกปลายะแครงผสมซีเมนต์แสดงดังต่อไปนี้

(a) พฤติกรรมการบดอัด (Compaction Characteristics)

พฤติกรรมของดินเมื่อถูกบดอัด เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของดินและปริมาณความชื้นในมวลดิน การศึกษาครั้งนี้ หินคลุกปลายะแครงและหินคลุกปลายะแครงผสมซีเมนต์ถูกบดอัดโดยวิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction) หินคลุกปลายะแครงที่ไม่ได้ผสมซีเมนต์มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ($\gamma_{d,max}$) เท่ากับ 2.278 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่ใช้ในการบดอัดเท่ากับ 6.2%



รูปที่ 2 พฤติกรรมการถูกบดอัดของหินคลุกปลายะแครงผสมซีเมนต์ที่ระดับ 1 - 3 %

รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่ใช้ในการบดอัดหินคลุกปลายตะแกรงและหินคลุกปลายตะแกรงที่ปริมาณซีเมนต์ 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% และ 3.0% ผลการทดลองแสดงว่าเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ที่ผสมในการบดอัดเพิ่มขึ้นในช่วง 1%-3% ค่า $\gamma_{d,max}$ มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 2.28 - 2.30 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่ใช้ในการบดอัดอยู่ในช่วง 5.3% - 5.7% ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ผสมมากขึ้นในการบดอัดส่งผลให้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมลดลง เนื่องจากปูนซีเมนต์มีการดูดน้ำไปเพื่อทำปฏิกิริยาไฮเดรชันในกระบวนการเกิดสารเชื่อมประสาน จากผลการทดสอบทางด้านการบดอัด เราจะนำมาใช้ในขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่างเพื่อการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่อไป โดยตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวและค่าแคลิฟอร์เนียเบียร์เรโซ จะได้มีการเตรียมตัวอย่างโดยการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานโดยปริมาณความชื้นที่ใช้ในการบดอัดมีค่าอยู่ในช่วง 5.5% - 6.0% การควบคุมคุณภาพตัวอย่างทำได้โดยการกำหนดให้ตัวอย่างที่บดอัดแล้วต้องมีความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างต้องไม่ต่ำกว่า 2.18 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็น 95% ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด (กล่าวคือ 2.30 t/m^3) ที่ได้จากการทดลองทางด้านพฤติกรรมการบดอัดดังกล่าวมาข้างต้น สำหรับตัวอย่างที่มีความหนาแน่นแห้งสูงสุดต่ำเกินไปจะไม่มีการนำมาทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม เนื่องจาก ตัวอย่างนั้นไม่ผ่านมาตรฐานควบคุมในการเตรียมตัวอย่าง

(b) กำลังรับแรงอัดแกนเดียว

(Uniaxial Compressive Strength, q_u)

การศึกษาด้านกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกปลายตะแกรงผสมซีเมนต์ ทำโดยการเตรียมตัวอย่างหินคลุกปลายตะแกรงผสมซีเมนต์ที่อัตราส่วน 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% และ 3.0% โดยน้ำหนักแห้ง และทำการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยใช้ปริมาณความชื้นในช่วง 5.3% - 5.7% โดยตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้วจะถูกบ่มไว้ที่อายุ 4 วัน และ 7 วัน

เมื่อครบอายุการบ่มตัวอย่างแล้ว จะนำตัวอย่างไปแช่น้ำทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมงก่อนการทดสอบกำลังอัด

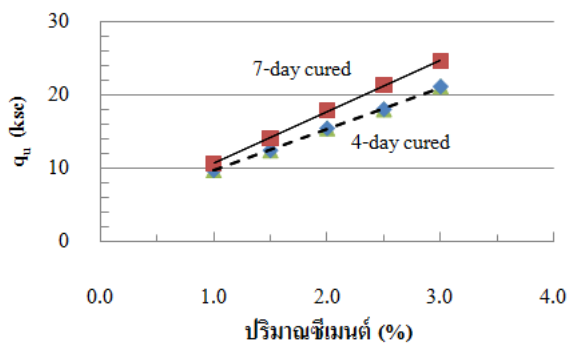
ผลการศึกษาด้านกำลังรับแรงอัดแกนเดียวของหินคลุกปลายตะแกรงผสมซีเมนต์ที่อายุการบ่ม 4 วันและ 7 วันแสดงดังรูปที่ 3 การพัฒนากำลังของหินคลุกปลายตะแกรงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น และกำลังเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม

ผลการทดลองแสดงว่าการใช้ซีเมนต์ 3.0% ที่อายุการบ่ม 7 วัน หินปลายตะแกรงมีค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว ประมาณ 25 kg/cm^2 ซึ่งเพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางตามมาตรฐานด้านกำลังรับแรงอัดแกนเดียว ซึ่งกำหนดไว้ที่ 24.5 kg/cm^2 การกำหนดอายุการบ่มไว้ที่ 7 วัน เป็นการกำหนดอายุการบ่มตามลักษณะการตรวจสอบงานในสนาม ซึ่งการบดอัดชั้นทางแต่ละชั้นจะใช้เวลาประมาณ 7 วัน ดังนั้น การกำหนดมาตรฐานการทดสอบกำลังที่อายุการบ่ม 7 วันจึงสอดคล้องกับการนำไปใช้งานได้จริงโดยไม่ก่อให้เกิดความล่าช้าในการทำงานในสนาม

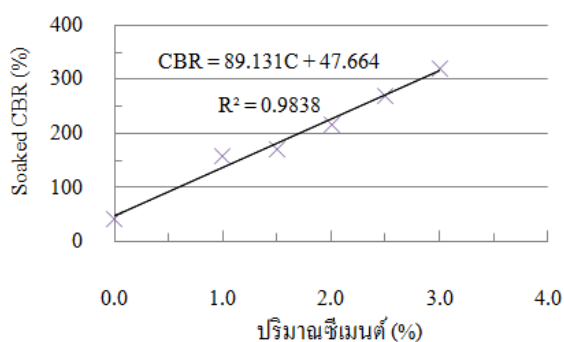
(c) กำลังอัดแบบแคลิฟอร์เนียเบียร์เรโซแบบแช่น้ำ

(Soaked California Bearing Ratio, CBR)

ผลการทดสอบ CBR แบบแช่น้ำของหินคลุกปลายตะแกรงที่ไม่ผสมซีเมนต์ พบว่า ตัวอย่างมีการบวมตัวขึ้นเท่ากับ 0.18% - 0.22% Soaked CBR มีค่าเท่ากับ 41.5% รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบค่า Soaked CBR ของหินคลุกปลายตะแกรงซึ่งผสมซีเมนต์ที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่ 1-3 % ผลการศึกษาแสดงว่าค่า Soaked CBR มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 41.5% จนสูงมากกว่า 300% เมื่อปริมาณซีเมนต์ที่ใช้เพิ่มขึ้นจนถึงระดับ 3% อย่างไรก็ตามมาตรฐานสำหรับชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทาง กำหนดไว้ที่ค่า Soaked CBR ไม่ต่ำกว่า 25% และ 80% ตามลำดับ ดังนั้นปริมาณซีเมนต์ 3% สอดคล้องกับผลการทดลองตามเกณฑ์ของกำลังอัดแกนเดียว จึงเป็นปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพียงพอสำหรับผสมกับตัวอย่างหินคลุกปลายตะแกรงเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุงานทางได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 3 กำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกปลายตะแกรงผสมซีเมนต์ที่อายุการบ่ม 4 วันและ 7 วัน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Soaked CBR กับปริมาณซีเมนต์ที่อัตราส่วนต่างๆ

5.3 การนำผลการศึกษาไปใช้ในงานก่อสร้างชั้นทาง

ผลการศึกษา แสดงว่า หินคลุกปลายตะแกรงผสมซีเมนต์สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างโดยใช้อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ 3% เป็นปริมาณที่เพียงพอต่อการบดอัดชั้นทางเพื่อใช้เป็นชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทางได้อย่างเหมาะสม กำลังรับแรงอัดแกนเดียวและค่า CBR แบบแช่น้ำ ยังคงมีการพัฒนากำลังอย่างต่อเนื่องจนถึงอายุการบ่ม 28 วัน เนื่องจากเป็นอายุสูงสุดในกลไกการพัฒนา กำลังระหว่างซีเมนต์และน้ำซึ่งจะพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงอายุการบ่ม 28 วัน ดังนั้น วิศวกรจึงมีความเชื่อมั่นได้ว่ากำลังของหินคลุกปลายตะแกรงจะไม่ต่ำกว่าค่าที่ได้ที่อายุการบ่ม 7 วันอย่างแน่นอน อย่างไรก็ตาม แม้ว่าปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำเกิดขึ้นและสร้างสารเชื่อมประสานซึ่งมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังของดิน ข้อควรระวังในการใช้งานหินคลุกปลายตะแกรงผสมซีเมนต์ คือ ต้องคำนึงถึงเรื่องความยืดหยุ่น (Modulus) ของหินคลุกปลายตะแกรงผสมซีเมนต์เมื่อ

นำไปใช้ในงานบดอัดเป็นชั้นทางด้วย หากกำลังของวัสดุสูงมากเกินไป แต่ความยืดหยุ่นของชั้นทางต่ำ อาจส่งผลให้เกิดการแตกหักขึ้นได้ทั้งในระหว่างที่ทำการบดอัดชั้นทางและระหว่างถนนสายนั้นๆ ได้เปิดใช้งานแล้ว หากชั้นทางเกิดการแตกหักเสียหาย ชั้นทางนั้นๆ อาจสูญเสียกำลังไปหากมีการผสมปูนซีเมนต์มากเกินไป และส่งผลให้ผิวทาง (road pavement) เกิดความเสียหายตามไปด้วย

6. บทสรุป

6.1 หินคลุกปลายตะแกรงที่นำมาทำการศึกษานี้ จัดกลุ่มดินตามระบบ Unified Soil Classification System ได้เป็น GM ค่า Liquid Limit เท่ากับ 26.1 %, Plastic Limit เท่ากับ 19.2 % และ Plasticity Index เท่ากับ 6.7 % หินคลุกปลายตะแกรงที่ผสมด้วยซีเมนต์ที่อัตราส่วน 1-3% ไม่มีสภาพความเป็นพลาสติก (Non-Plastic)

6.2 หินคลุกปลายตะแกรงบดอัดมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด เท่ากับ 2.278 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดประมาณ 6.2 % ค่า Soaked CBR ของหินคลุกปลายตะแกรงที่ไม่ผสมซีเมนต์มีค่าประมาณ 41.5 %

6.3 การบดอัดหินคลุกปลายตะแกรงผสมซีเมนต์ที่อัตราส่วนซีเมนต์ 1-3 % ได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดประมาณ 2.28-2.30 t/m³ ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดอยู่ในช่วง 5.5-5.7 % ดังนั้น จึงใช้ช่วงปริมาณความชื้น 5.5-5.7 % นี้ สำหรับการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม และใช้เกณฑ์ความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างไม่ต่ำกว่า 2.19 t/m³ หรือคิดเป็น 95% Compaction ในการควบคุมคุณภาพการบดอัดในการเตรียมตัวอย่าง

6.4 ผลการทดสอบ UCS และ Soaked CBR แสดงว่า ซีเมนต์ 3% เป็นปริมาณซีเมนต์ที่เพียงพอ ในการบดอัดร่วมกับหินคลุกปลายตะแกรง เพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ปริมาณซีเมนต์ที่มากเกินไปอาจมีผลในเรื่องของการแตกหักเนื่องจากความเปราะของชั้นทางและอาจส่งผลให้ผิวทางเกิดความเสียหายได้

6.5 ผลการศึกษาแสดงว่าการปรับปรุงหินคลุกปลายตะแกรงโดยการผสมด้วยซีเมนต์ มีแนวโน้มในการนำไปใช้งานได้

จริงสำหรับการใช้เป็นวัสดุก่อสร้างชั้นทาง ดังนั้นข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในขั้นต่อไปคือ การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีนี้ ในแปลงทดลองและทำการ Coring ตัวอย่างมาเพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม และการศึกษาผลของอายุการบ่มที่ยาวนานขึ้นประมาณ 28 วัน นอกจากนี้ วัสดุผสมเพิ่มอื่นๆ เช่น ปูนขาว เถ้าลอย เถ้าหนัก เถ้าแกลบ อาจนำมาใช้ร่วมกับซีเมนต์ ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ซึ่งมีราคาสูงกว่า ข้อดีของการใช้วัสดุผสมเพิ่มอื่นๆ ดังกล่าวมาข้างต้น มีผลต่อการพัฒนากำลังของชั้นทางในระยะยาว โดยเป็นไปตามกลไกปฏิกิริยาปอซโซลานิกการพัฒนากำลังที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

7. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยดังแสดงในบทความนี้ ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยประจำปี 2554 จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ผู้เขียนขอขอบคุณจารีต คำรงค์พานิช วิศวกรโยธา (ชำนาญงาน) กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย สำหรับข้อมูลและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้างชั้นทาง ซึ่งใช้อ้างอิงในบทความนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณณรงค์ ปานข่อยงามและคุณธีรภาส ตรันเจริญ นิสิตระดับปริญญาโท และตรี สาขาวิศวกรรมโยธามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์สำหรับข้อมูลสนับสนุนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณโรงโม่หินศิลานนท์ จังหวัดสระบุรี สำหรับตัวอย่างวัสดุวิจัย (หินคลุกปลายตะแกรง) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กัมปนาท บุญกัน (2542). “การศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของหินคลุกด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยรังสิต.
- [2] Waltham, A.C. (1994). “Foundations of Engineering Geology” Blackie Academy and Professional, London, 88p.
- [3] กรมทางหลวง (2539). “มาตรฐานงานทาง,

กรมทางหลวง, กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพฯ.

- [4] เจษฎา ขอดมงคล และอดิสร สุวรรณโมลี (2540). “การปรับปรุงคุณภาพหินคลุกด้วยซีเมนต์และปูนขาว” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [5] ชีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ (2539). “เอกสารทางวิชาการ การปรับปรุงคุณภาพวัสดุและปัญหาในประเทศไทย เรื่องการปรับปรุงคุณภาพดินโดยผสมซีเมนต์” ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กทม.
- [6] ภูเวียง โกศรี (2540). “การศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังผสมหินคลุกเปรียบเทียบกับดินลูกรังผสมหินคลุกและปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เพื่อใช้เป็นวัสดุพื้นทางในประเทศลาว” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กทม.
- [7] ปิยพงศ์ นุโรจน์ และประทีป ดวงเดือน (2548). “การศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยลิกไนต์และซีเมนต์เมื่อผสมดินแกรนิตในปริมาณต่างๆ,” การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 10, ชลบุรี, 2-4 พฤษภาคม, pp. GTE 103 – GTE108.