

พฤติกรรมด้านกำลังอัดของดินเหนียวผสมซีเมนต์ด้วยวิธีการบ่มที่แตกต่างกัน

Compressive Strength Behavior of Clay Admixed Cement Under the Different Curing Conditions

วรวิทย์ โพธิ์จันทร์^{1*} และอนุชาติ ลีอนันต์ศักดิ์ศิริ¹

Worawit Phojan^{1*} and Anuchat LEEANANSAKSIRI¹

Received: September 1, 2022; Revised: November 5, 2022; Accepted: November 5, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากำลังอัดแกนเดียวของดินเหนียวผสมปูนซีเมนต์ที่บ่มแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำ โดยมีแนวความคิดการศึกษาจากการก่อสร้างฝายชะลอน้ำโดยใช้ดินผสมซีเมนต์ (Core Zone Soil Cement Check Dam) การก่อสร้างฝายต้องทำอย่างรวดเร็วและตัวฝายต้องแช่น้ำหลังจากก่อสร้างเสร็จทันที การศึกษาจะแปรผันตัวแปรควบคุม ได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณความชื้น สภาวะการบ่มแบบแช่น้ำ และไม่แช่น้ำ และอายุบ่ม การศึกษาโดยใช้ดินเหนียวผสมกับปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 15 20 และ 25 ของน้ำหนักดินแห้ง ปริมาณความชื้นที่ร้อยละ 80 100 และ 120 ของความชื้นที่เหมาะสม การทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่า กำลังอัดแกนเดียวในทุกอัตราส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุบ่มที่เพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วนปริมาณน้ำในดินต่อซีเมนต์ค่ากำลังอัดก็มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน ผลการบ่มแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำพบว่าตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ถูกบ่มในน้ำตลอดเวลาจะมีกำลังอัดต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่น้ำ ตัวอย่างจะมีความเครียดที่จุดวิกฤตและความเหนียว (Ductile) มากกว่าตัวอย่างแบบไม่แช่น้ำเล็กน้อย ผลของการแช่น้ำในช่วงเริ่มต้นเป็นการทำให้อัตราส่วนปริมาณน้ำในดินต่อซีเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตัวอย่างแบบแช่น้ำมีกำลังอัดลดลง

คำสำคัญ : ฝายชะลอน้ำ; กำลังอัดแกนเดียว; ดินซีเมนต์

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น

¹ Faculty of Engineering, North Eastern University, Khonkaen

* Corresponding Author, Tel. 08 9943 1604, E - mail: Worawit.Pho@neu.ac.th

Abstract

This study investigated the unconfined compressive strength of cemented clay under soaked and unsoaked conditions. The concept of the study was the use of a soil-cement core zone for check dam construction. The check dam needs fast construction and must be immediately soaked in water after the end of construction. Influential factors of this study were cement content, water content, soaked/unsoaked conditions and curing times. The cement contents were 15, 20 and 25 % by weight of dry soil. The moisture contents were 80, 100 and 120 % of optimum moisture content. The study results indicated that unconfined compressive strength increased with an increase in curing time for all mixing ratios. The lower clay-water/cement ratio resulted in an increase in unconfined compressive strength. The results of soaked and unsoaked conditions showed that soil-cement samples in soaked conditions had lower compressive strength than those in unsoaked conditions. However, soil-cement samples in soaked conditions had more yield strength and ductility than soil-cement samples in unsoaked conditions. The effect of the initial soaked condition resulted in the clay-water/cement ratio increase in the unconfined compressive strength of samples in soaked condition lower.

Keywords: Check Dam; Compressive Strength; Soil Cement

บทนำ

ดินเป็นวัสดุที่สร้างไม่ได้ ทำให้ไม่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ดังนั้นการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินจึงเป็นสิ่งจำเป็น การบดอัดดินเป็นวิธีที่หนึ่งที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง [1] ทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรม (Engineering Properties) ของดินให้ดีขึ้น ได้แก่ กำลังต้านทานแรงเฉือนสูงขึ้น การยุบตัวลดลงและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านลดลง และในปัจจุบันการปรับปรุงดินด้วยปูนซีเมนต์เป็นที่นิยมและมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ซีเมนต์ที่ผสมลงไปดินช่วยให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมดีขึ้นกว่าการบดอัดดินเพียงอย่างเดียว จึงนิยมมาใช้ในการปรับปรุงดินในหลาย ๆ ด้าน เช่น การทำเสาเข็มดินซีเมนต์ การปรับปรุงชั้นรองพื้นทางสำหรับงานถนน เป็นต้น การปรับปรุงดินโดยใช้ปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่ถูกนำมาปรับปรุงอยู่ 2 แบบ คือแบบผสมที่ปริมาณความชื้นสูงสำหรับทำเสาเข็มดินซีเมนต์ และการผสมกับดินแล้วบดอัดด้วยปริมาณความชื้นต่ำ

กรมชลประทานถือเป็นหน่วยงานหลักที่ดำเนินโครงการตามแนวพระราชดำริในการบริหารจัดการน้ำเพื่อเกษตรกรรมด้วยเหตุนี้เองทางศูนย์ปฏิบัติการบรรเทาภัยอันเกิดจากน้ำ ซึ่งเป็นหน่วยงานภายใต้สำนักงานก่อสร้างชลประทานที่ 6 กรมชลประทาน จังหวัดขอนแก่น เป็นหน่วยงานที่ริเริ่มแนวคิดในการสร้างฝายชะลอน้ำแบบรูปแบบเดิม ด้วยปัญหาของการบำรุงรักษาและความคงทนของฝายชะลอน้ำแบบเดิม เนื่องจากการก่อสร้างทำขึ้นอย่างง่ายด้วยวัสดุในพื้นที่ส่งผลให้ฝายไม่แข็งแรงเท่าที่ควร เมื่อถึงฤดูน้ำหลาก ฝายจะเกิดความเสียหายส่งผลให้ต้องมีการก่อสร้างใหม่เป็นประจำทุกปี ชาวบ้านจึงต้องช่วยกันบูรณะซ่อมแซมอยู่ตลอด อีกทั้งฝายหินทั้งนั้นยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอต่อการกักเก็บน้ำในระยะยาวเนื่องจากน้ำสามารถลอดผ่านช่องระหว่างแนวหินไปได้ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำที่กักเก็บไว้ไม่เพียงพอใช้ตลอดช่วงฤดูแล้ง [2] ดังรูปที่ 1 ด้วยเหตุนี้จึงได้มีแนวความคิดในการก่อสร้างฝายชะลอน้ำให้มีความคงทนแข็งแรง ลดการทรุดตัวและการซึมผ่านของน้ำ วัสดุที่ใช้ก่อสร้างสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น มีรูปแบบการก่อสร้างที่ไม่ซับซ้อน และรวดเร็วขึ้นแต่ประสบปัญหาด้านความแข็งแรงและคงทน ทำให้ต้องมีการสร้างขึ้นใหม่ในทุก ๆ ปี ดังนั้นทางศูนย์ปฏิบัติการบรรเทาภัยอันเกิดจากน้ำได้ทำรูปแบบฝายชะลอน้ำโดยใช้วัสดุก่อสร้างที่ได้ทำทั่วไปร่วมกับเทคนิคการปรับปรุงดินโดยใช้วัสดุเชื่อมประสาน (ปูนซีเมนต์) โดยใช้ชื่อเรียกว่าฝายชะลอน้ำร่องแกนดินซีเมนต์ (Core Zone Soil Cement Check Dam)



(ก) ลำห้วยก่อนสร้างฝาย



(ข) หลังสร้างฝายชะลอน้ำ

รูปที่ 1 ก่อนและหลังก่อสร้างฝายชะลอน้ำ

การบริหารจัดการน้ำโดยใช้การเก็บกักน้ำไว้ในลำน้ำ โดยใช้รูปแบบฝายชะลอน้ำแบบร่องแกนดินซีเมนต์ (Core Zone Soil Cement Check Dam) พื้นที่ศึกษา เทศบาลตำบลบ้านเป็ด อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น โดยสร้างขวางลำน้ำห้วยบ่อ 20.0 meter สันฝายสูง 2.0 meter และกว้าง 2.0 meter ร่องแกนฝายลึกไม่น้อยกว่า 3.0 meter ผลจากการเก็บกักน้ำส่งผลให้ระดับน้ำด้านท้ายฝายยกระดับลำน้ำสูงขึ้นเป็นระยะทางยาวมากกว่า 3.0 กิโลเมตร การก่อสร้างจะใช้ดินในพื้นที่มาผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน (ปูนซีเมนต์:ดิน) เท่ากับ 1:10 ถึง 1:30 ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน การก่อสร้างจะต้องใช้เวลาก่อสร้างอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นเส้นทางน้ำไหล จะต้องทำการเบี่ยงเบนลำน้ำเพื่อสร้างฝาย ดังนั้นพื้นที่ก่อสร้างจะต้องนำดินมาผสมกับปูนซีเมนต์ตามอัตราส่วนแล้วบดอัดให้แล้วเสร็จภายใน 3 - 5 วัน หลังจากนั้นจะปล่อยให้น้ำไหลผ่านตัวฝายทันที [2] ดังรูปที่ 2



(ก) การขุดร่องแกนฝายชะลอน้ำ



(ข) การบดอัดดินซีเมนต์หน้าและหลังฝายชะลอน้ำ



(ค) การปูแผ่นโพลีเอทิลีนหน้าและหลังฝาย



(ง) การวางกล่องเก็บน้ำบนบรรจุหินใหญ่

รูปที่ 2 การก่อสร้างฝายและการปรับปรุงดินด้วยปูนซีเมนต์

ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวความคิดในการทำวิจัยเพื่อศึกษาถึงกำลังอัดของดินซีเมนต์ที่ถูกแช่น้ำตลอดเวลาในช่วงเวลาของการพัฒนากำลังอัดของดินซีเมนต์ โดยอาศัยตัวแปรควบคุม ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณปูนซีเมนต์ สภาวะการบ่มในท้องและบ่มแบบแช่น้ำ และอายุบ่ม

วิธีดำเนินการศึกษา

1. ดินเหนียว

ดินที่ใช้ในการศึกษา คือ ดินเหนียวปนตะกอนในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ที่ความลึกประมาณ 3.0 เมตรจากผิวดิน เพื่อให้ได้ดินที่มีลักษณะเหมือนกันมากที่สุดไม่ให้มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนดินตัวอย่างถูกเก็บมาผึ่งแดดให้แห้งแล้วย่อยดินด้วยค้อนยาง ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 เพื่อเอาเศษหญ้า กิ่งไม้ ใบไม้ออก หลังจากนั้นเก็บในถังพลาสติกในสภาพแห้งเพื่อเตรียมการบดอัด ชีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติกมีค่าเท่ากับร้อยละ 44 และ 10.87 ดินมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.65 ดินประเภทนี้จัดเป็นดินเหนียวที่มีพลาสติกต่ำ (CL) ตามระบบการจำแนกดินแบบเอกภาพ (USCS)

2. ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมคิดเป็นร้อยละ 15 20 และ 25 ของน้ำหนักดินแห้ง

3. การบดอัดดิน การบดอัดจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

3.1 การทดสอบการบดอัดของดินที่ไม่ผสมซีเมนต์ เป็นการทดสอบเพื่อหาหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นเหมาะสม (Optimum Water Content) รวมถึงกราฟการบดอัด (Compaction Curve) ของดินตัวอย่างโดยใช้พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor) ในแบบหล่อ (Mold) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร สูง 116.8 มิลลิเมตร

3.2 การทดสอบการบดอัดของดินผสมซีเมนต์ ตัวอย่างดินผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 15 20 และ 25 ของน้ำหนักดินแห้งให้เข้ากัน แล้วผสมน้ำตามปริมาณความชื้น โดยจะแปรผันปริมาณความชื้นที่ร้อยละ 80 100 และ 120 ของปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Water Content) หลังจากนั้นบ่มใส่ถุงพลาสติกเป็นเวลา 2 ชม. เพื่อให้ความชื้นกระจายทั่วดินตัวอย่าง แล้วบดอัดด้วยพลังงานแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor) หลังจากบดอัดเสร็จทั้งตัวอย่างไว้ 3 วัน ตัวอย่างแบ่งเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 นำตัวอย่างห่อด้วยแผ่นผ้าใยสังเคราะห์แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 7 14 28 และ 60 วัน ชุดที่ 2 ตัวอย่างดินซีเมนต์ที่บดอัดเสร็จแล้วจะถูกห่อด้วยฟิล์มพลาสติกแล้วบ่มทิ้งไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 7 14 28 และ 60 วัน เช่นกัน

4. การทดสอบกำลังอัดแกนเดียว

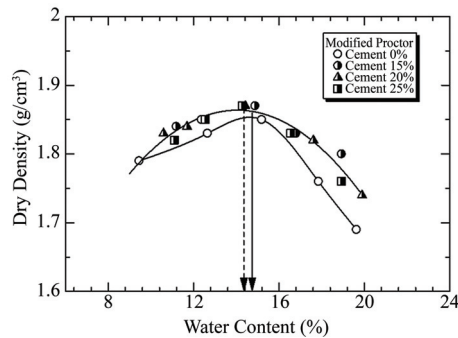
เมื่อตัวอย่างดินซีเมนต์ครบอายุบ่ม นำตัวอย่างดินไปทดสอบกำลังอัดแกนเดียว โดยตัวอย่างที่แช่น้ำจะต้องนำขึ้นมาจากน้ำแล้วทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงก่อนทำการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ก่อนตัวอย่างที่จะทดสอบต้องทำการชั่งน้ำหนัก วัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง การกดตัวอย่างจะใช้อัตราการกด 0.5 % ของความสูงดินตัวอย่าง จนกระทั่งดินตัวอย่างวิบัติแล้วบันทึกผลการทดสอบ

ผลการศึกษา

1. พฤติกรรมด้านกำลังอัดของดินเหนียวบดอัดผสมซีเมนต์

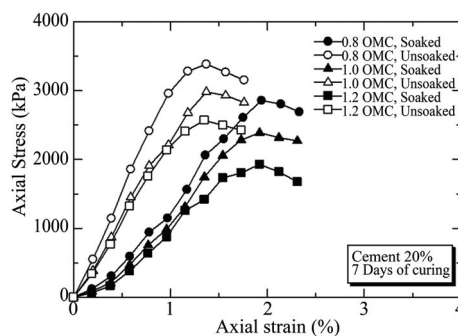
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งกับปริมาณความชื้นของดินเหนียวที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 0 15 20 และ 25 จากกราฟการบดอัดจะเห็นได้ว่าดินซีเมนต์มีความไวต่ออัตราส่วนน้ำสูงกว่าดินไม่ผสมซีเมนต์ ในช่วงปริมาณความชื้นทางด้านเปียกของปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ดังจะเห็นได้จากหน่วยน้ำหนักแห้งของดินซีเมนต์มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของน้ำ หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของดินซีเมนต์มีค่าสูงกว่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของดินไม่ผสมซีเมนต์เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์สูงกว่า

ดินเหนียว ในขณะที่ปริมาณความชื้นเหมาะสมของดินไม่ผสมซีเมนต์และดินผสมซีเมนต์มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งและปริมาณความชื้นของดินซีเมนต์

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดตามแนวแกนของดินเหนียวผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ที่อายุบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างที่บ่มแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำ ที่จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนปริมาณน้ำในดินต่อปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากันวิธีบ่มต่างกัน กำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่บ่มแบบไม่แช่น้ำมีค่าสูงกว่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่บ่มแบบแช่น้ำสำหรับทุกปริมาณความชื้นมีค่าต่างกัน ในขณะที่ความเครียดที่จุดวิกฤติของตัวอย่างดินซีเมนต์แบบไม่แช่น้ำจะมีค่าความเครียดที่จุดวิกฤติสูงกว่าดินซีเมนต์แบบแช่น้ำ เนื่องจากหลังจากบดอัดภายใต้การบ่มในอุณหภูมิห้องในระยะเวลาอันสั้น (3 วันก่อนแช่น้ำ) อนุภาคของซีเมนต์ที่ Unhydrated จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันซึ่งจะทำให้ซีเมนต์เจลแทรกตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงนี้ยังไม่เกิดสมบูรณ์ เมื่อนำตัวอย่างดินลงไปแช่น้ำเท่ากับเพิ่มปริมาณความชื้นในตัวอย่างในช่วงการพัฒนากำลังอัด ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราส่วนปริมาณน้ำในมวลดินมีค่าเพิ่มขึ้นและตัวอย่างดินซีเมนต์แบบแช่น้ำแสดงพฤติกรรมแบบเหนียว (Ductile) และส่งผลให้กำลังอัดของตัวอย่างลดลง [3]



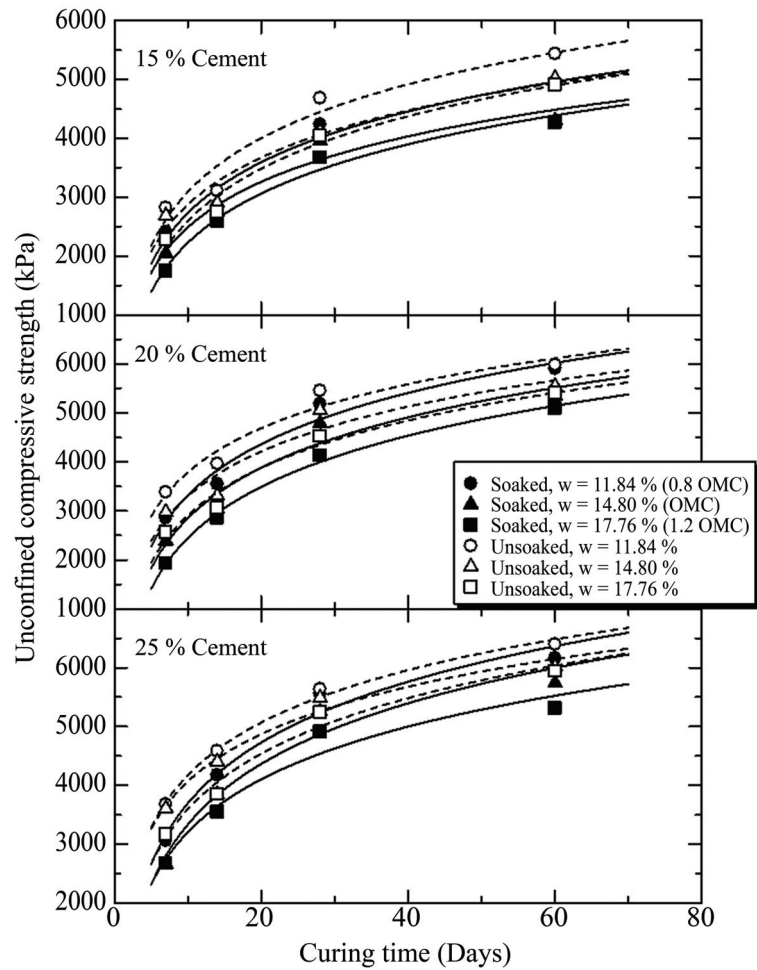
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียดของดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูน 20 % อายุบ่ม 7 วัน

รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของการบ่มต่อกำลังอัดแกนเดียว จากการทดสอบกำลังอัดของดินซีเมนต์ที่สภาวะแช่น้ำและไม่แช่น้ำที่อายุบ่ม 7 14 28 และ 60 วัน ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 15 20 และ 25 และปริมาณค่าความชื้นเท่ากับ 0.80 1.0 และ 1.20 OWC ของค่าความชื้นที่เหมาะสม ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่ปริมาณความชื้นและอายุบ่มเดียวกัน กำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างแบบแช่น้ำมีค่าต่ำกว่าแบบไม่แช่น้ำในทุกอัตราส่วนผสม เนื่องจากตัวอย่างดินซีเมนต์แบบแช่น้ำจะทำให้อัตราส่วนปริมาณน้ำในดินต่อซีเมนต์สูงขึ้น และมีโอกาสบวมตัวในช่วงระยะเวลาการแช่น้ำในช่วงแรก ๆ ส่งผลให้กำลังอัดต่ำลง [4] ซึ่งวิธีการบ่มในงานวิจัยจะแตกต่างจากงานวิจัยอื่นที่ระบุว่าการให้อุณหภูมิการบ่มของตัวอย่างต่ำทำให้กำลังอัดต่ำ เมื่อบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่ากำลังอัดก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย [5] - [8]

รูปที่ 6 ความสัมพันธ์เปรียบเทียบกำลังอัดแกนเดียวที่รูปแบบการบ่มแบบแช่น้ำและแบบไม่แช่น้ำ พบว่ากำลังอัดของดินซีเมนต์แช่น้ำมีค่าต่ำกว่าแบบไม่แช่น้ำเป็นฟังก์ชันแบบ Linear ดังสมการที่ (1)

$$q_{u(Soaked)} = 0.917(q_{u(Unsoaked)}) \quad (1)$$

ค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์แบบแช่น้ำต่ำกว่าแบบไม่แช่น้ำประมาณร้อยละ 8 - 10 โดยมีค่า Coefficient of Correlation เท่ากับ 0.975



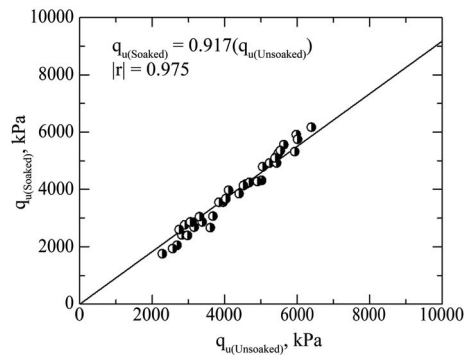
รูปที่ 5 การพัฒนากำลังอัดของดินซีเมนต์ที่บ่มแบบไม่แช่น้ำและบ่มแบบแช่น้ำที่ปริมาณซีเมนต์ปริมาณ ความชื้น และอายุบ่มต่าง ๆ

2. การพัฒนากำลังอัดของดินเหนียวคัดผสมซีเมนต์กับเวลา

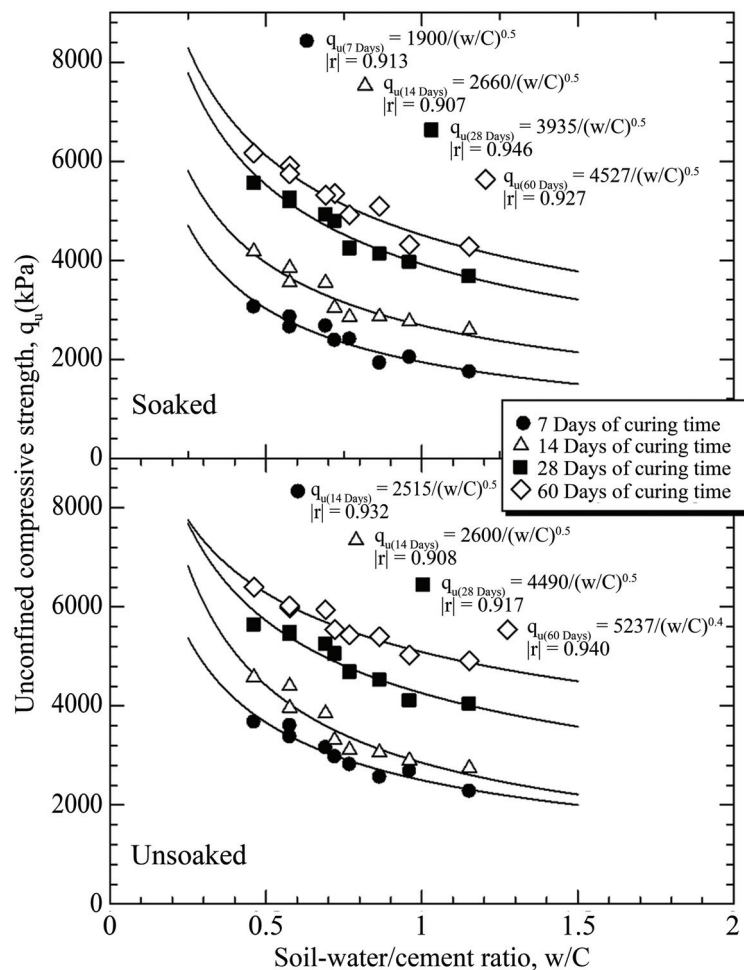
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนปริมาณน้ำในดินต่อปริมาณปูนซีเมนต์ ที่อายุบ่มใด ๆ ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ในฟังก์ชันกำลัง (Power Function) ดังสมการที่ (2)

$$q_u = \frac{A}{\left(\frac{w}{C}\right)^B} \quad (2)$$

เมื่อ A และ B เป็นค่าคงที่แปรผันตามชนิดของดินและ q_u คือกำลังอัดที่อายุบ่มใด ๆ พารามิเตอร์ A และ B หาได้จากการทำ Multi-Regression Analysis ของดินซีเมนต์ที่อายุบ่ม 7 14 28 และ 60 วัน ค่าของพารามิเตอร์ A มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม พารามิเตอร์ B มีค่าประมาณคงที่ไม่แปรผันตามอายุบ่มที่ 0.50 [9]



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของกำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่บ่มแบบไม่แช่น้ำและบ่มแบบแช่น้ำ



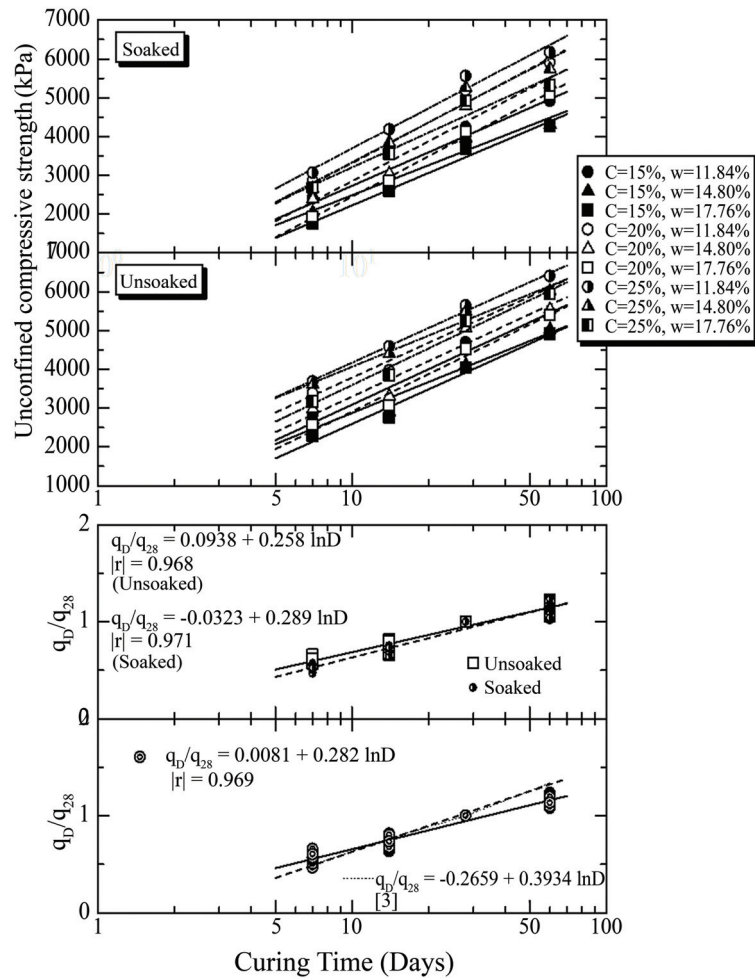
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวและอัตราส่วน w/c ของดินเหนียวผสมซีเมนต์บดอัด

รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวและอายุบ่มที่ปริมาณปูนซีเมนต์ รูปแบบการบ่ม ปริมาณ ความชื้นต่าง ๆ ของดินซีเมนต์ จากการสังเกตพบว่า กำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุบ่มเป็นฟังก์ชันลอการิทึม การพัฒนากำลังอัดขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชันเป็นหลักที่ค่า w/C ค่าหนึ่ง การเพิ่มขึ้นของกำลังอัดถูกควบคุม โดยพารามิเตอร์ A เท่านั้น เนื่องจากตัวแปร B มีค่าประมาณคงที่สำหรับทุกอายุบ่ม ความสัมพันธ์ระหว่าง

กำลังอัดและอายุบ่มสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3)

$$\frac{q_{D1}}{q_{D2}} = \frac{A_{D1}}{A_{D2}} = \text{ค่าคงที่} \quad (3)$$

เมื่อ q_{D1} คือ กำลังอัดแกนเดียวที่ต้องการทราบค่าที่อายุบ่ม D_1 วัน และ q_{D2} คือ กำลังอัดแกนเดียวที่ทราบค่าที่อายุบ่ม D_2 วัน และ A_{D1} A_{D2} คือพารามิเตอร์ A ที่สอดคล้องกับอายุบ่ม D_1 และ D_2



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวและอายุบ่ม

จากหลักการดังกล่าวแสดงด้วยสมการที่ (2) ผู้วิจัยได้ทำการ Normalization ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียว (q_u) กับอายุบ่ม (D) ภายใต้สภาวะตัวแปรต่าง ๆ คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ รูปแบบการบ่ม และปริมาณความชื้นของดินซีเมนต์ โดยใช้ค่ากำลังอัดแกนเดียวที่อายุบ่ม 28 วัน เป็นค่าอ้างอิงดังรูปที่ 8 ผลจากการ Normalization ของผลทดสอบกำลังอัดแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำและทั้งสองแบบจะได้ดังสมการที่ (4) - (5)

$$\text{(Soaked)} \quad \frac{q_D}{q_{28}} = -0.0323 + 0.289 \ln D \quad (4)$$

$$\text{(Unsoaked)} \quad \frac{q_D}{q_{28}} = -0.0938 + 0.258 \ln D \quad (5)$$

และการบ่มทั้งสองแบบจะได้ดังสมการที่ (6)

$$\frac{q_D}{q_{28}} = 0.0081 + 0.282 \ln D \quad (6)$$

เมื่อ q_D และ q_{28} คือ กำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่อายุบ่ม D ไດ ๆ และกำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์เก่าที่อายุบ่ม 28 วัน ตามลำดับ เปรียบเทียบผลการทดสอบดินซีเมนต์ของ [3]

สรุปผลการศึกษา

1. อัดแกนเดียวในทุกอัตราส่วนผสม (ปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณความชื้น รูปแบบการบ่ม) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอายุบ่ม
2. กำลังอัดของดินเหนียวซีเมนต์จะแปรผันตามอัตราส่วนปริมาณน้ำในดินต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (w/C) กำลังอัดจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราส่วนปริมาณน้ำในดินต่อปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต่ำลง
3. ที่อัตราส่วนปริมาณน้ำในดินต่อปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากันวิธีบ่มต่างกัน กำลังอัดแกนเดียวมีค่าต่างกัน ดินซีเมนต์ที่บ่มแบบแช่น้ำกำลังอัดจะต่ำกว่าแบบไม่แช่น้ำ เนื่องจากการแช่น้ำในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นเป็นการเพิ่มปริมาณความชื้นในดิน ทำให้อัตราส่วนปริมาณความชื้นต่อซีเมนต์สูงขึ้น ทำให้กำลังอัดต่ำลง
4. ตัวอย่างดินซีเมนต์แบบไม่แช่น้ำจะมีความเครียดที่จุดวิกฤตต่ำกว่าดินซีเมนต์แบบแช่น้ำที่แสดงพฤติกรรมแบบเหนียว (Ductile)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณภัทรพล ณ หนองคาย ผู้อำนวยการโครงการก่อสร้างสำนักชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ศูนย์ปฏิบัติการบรรเทาภัยอันเกิดจากน้ำ และมหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มอบทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

References

- [1] Katkan, W., Kumpala, A., and Horpibulsuk, S. (2008). An Approach for Assessment of Compaction Curves of Soils at Various Energies Using A One Point Test. **RMUTI JOURNAL**. Vol. 1, No. 2, pp. 15-31 (in Thai)
- [2] Na Nongkhai, P., Phojan, W., Pongnam, T., Chamchong, B., and Konyai, S. (2017). Core Zone Soil Cement Check Dam for Water Resource Management. **International Conference on Engineering and Natural Science-Summer Session**. Supporo Japan. August 23-25, 2017, pp. 88-99
- [3] Horpibulsuk, S., Rachan, R., Papattanotai, S., and Nagaraj, T. S. (2006). Analysis of Strength Development of Cement Stabilized Clay from Microstructural Consolidations. In **Proceeding International Symposium on Lowland Technology**. Saga, Japan, pp. 115-120
- [4] Jindapon, S., Yimsiri, S., Soralump, S., and Mitaim, S. (2006). Cement and Lime Stabilization of Soil in Submerged Condition. **Kasetsart Engineering Journal**. Vol. 20, No. 59, pp. 52-60 (in Thai)

- [5] Corp of Engineer. (1956). Summary Reviews of Soil Stabilization. In **Proceeding, No. 13, Soil-Cement, Miscellaneous Paper, No. 3-122**. Water Experiment Station, Vicksburg, p. 38
- [6] Portland Cement Association. (1969). **Soil-Cement Construction Handbook**. Construction Inspection Field Control. p. 11
- [7] Ingles, O. G. and Metcalf, J. B. (1972). **Soil Stabilization Principles and Practice**. Sydney. Butterworth PTY., p. 200
- [8] Clare, K. E. and Pollard, A. E. (1954). The Effect Of Curing Temperature On the Compressive Strenght Of Soil-Cement Mixtures. **Geotechnique**. Vol. 4, Issue 3, pp. 97-107. DOI: 10.1680/geot.1954.4.3.97
- [9] Horpibulsuk, S., Miura, N., and Nagaraj, T. S. (2003). Assessment of Strength Development in Cement - Admixed High Water Content Clay with Abrams Law as a Basic. **Geotechnique**. Vol. 53, Issue 4, pp. 439-444. DOI: 10.1680/geot.2003.53.4.439