

กำลังรับแรงอัดตามแนวแกนของดินซีเมนต์บดอัดผสมเส้นใยป่านศรนารายณ์

Axial Compressive Strength of Cement Stabilized Rammed Earth Mixed with Sisal Fiber

วราธร แก้วแสง*

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู

เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

*ติดต่อ: Warathornk@sau.ac.th, โทร 081-804-5385

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนของดินซีเมนต์บดอัดผสมเส้นใยป่านศรนารายณ์ โดยทำการศึกษาการบดอัดแบบมาตรฐาน เพื่อหาค่าความหนาแน่นสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินซีเมนต์ที่ผสมและไม่ผสมเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่อัตราส่วนที่ต่างกัน และทำการศึกษาหาค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนของตัวอย่างดินซีเมนต์บดอัดที่ผสมและไม่ผสมเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่อัตราส่วนและอายุการบ่มที่ต่างกัน โดยใช้ตัวอย่างดินลูกรังจากแหล่ง ตำบลโพรงมะเดื่อ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม มาทำการร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องเปิด 4 มิลลิเมตร แล้วนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังเท่ากับ 1:7 โดยน้ำหนักดินแห้ง และผสมกับเส้นใยป่านศรนารายณ์มีขนาดความยาว 20 มิลลิเมตร ที่ปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์น้ำหนัก 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 กรัม ตามลำดับ จากนั้นขึ้นรูปตัวอย่างที่มีขนาดความชื้นที่เหมาะสม โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ความสูง 20 เซนติเมตร แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปบ่มด้วยความชื้นในอากาศที่มีอายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ เมื่อครบอายุการบ่มแล้วนำตัวอย่างไปทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามแนวแกนทันที จากผลการศึกษา พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มในทุกอัตราส่วน โดยที่อายุการบ่มที่ 28 วัน ให้ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยสูงสุดที่ 124.49 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนปริมาณของเส้นใยป่านศรนารายณ์เมื่อมีปริมาณเพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณ 15 กรัม และมีแนวโน้มลดลงหลังปริมาณ 15 กรัม ไปแล้ว โดยที่ปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 15 กรัม ให้ค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนเฉลี่ยสูงสุดและเหมาะสมที่สุด

คำหลัก: กำลังรับแรงอัดตามแนวแกน, ดินซีเมนต์, ป่านศรนารายณ์, ดินลูกรัง

Abstract

This research investigates the axial compressive strength of cement stabilized rammed earth with sisal fibers. A standard compaction test was conducted to determine the maximum dry density (MDD) and optimum moisture content (OMC) of the mixtures, both with and without fibers at various ratios. The study also evaluated the axial compressive strength of the samples at different fiber contents and curing ages. Lateritic soil from Phrong Madua Subdistrict, Mueang District, Nakhon Pathom Province, was sieved through a 4 mm opening and mixed with Type 1 Portland cement at a cement-to-soil ratio of 1:7 by dry weight. Sisal fibers, 20 mm in length, were added at weights of 0, 5, 10, 15, 20, and 25 grams. Specimens with

a diameter of 10 cm and a height of 20 cm were molded at their optimum moisture content and moist-cured for 3, 7, 14, and 28 days. Upon reaching the specified curing ages, the specimens were immediately subjected to axial compression testing. The results indicate that the axial compressive strength increased with curing age across all ratios, reaching a maximum average of 124.49 kg/cm² at 28 days. Regarding sisal fiber content, the axial compressive strength tended to increase up to a fiber weight of 15 grams, after which it began to decline. The 15 grams fiber content yielded the highest and most optimal average axial compressive strength.

Keywords: Axial Compressive Strength, Soil-Cement, Sisal Vegetable Fiber, laterite soil.

1. บทนำ

ดิน ซีเมนต์ บดอัด (Cement Stabilized Rammed Earth, CSRE) เป็นการนำดินลูกรังมาผสมกับวัสดุเชื่อมประสาน (Cementing Material) นั่นก็คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) แล้วเพิ่มความหนาแน่นให้กับดินโดยการบดอัด (Rammed) ซึ่งเป็นหลักการเดียวกันกับการปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Stabilization) ในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค [1] ยังเป็นแนวทางปฏิบัติที่สำคัญในด้านวิศวกรรมปฐพี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพของดินที่มีปัญหาหรือดินอ่อน ซึ่งมักมีกำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ต่ำและมีการทรุดตัวค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามการนำเส้นใยตามธรรมชาติหรือเส้นใยสังเคราะห์ มาใช้ร่วมกับการปรับปรุงคุณภาพดินเช่นกัน ซึ่งเรียกว่า การเสริมแรงด้วยเส้นใย (Fiber Reinforcement) โดยวิธีการดังกล่าวเป็นแนวทางที่นำไปใช้ได้จริงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการเพิ่มประสิทธิภาพของดิน โดยเฉพาะในด้านกำลังรับแรงเฉือน ความต้านทานแรงดึง (Tensile Resistance) และความเหนียว (Ductility) รวมถึงเพิ่มความสามารถในการต้านทานการแตกร้าวและการเสียรูปเป็นต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดทำการศึกษากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนเพียงคุณสมบัติเดียว ของดินซีเมนต์บดอัดผสมเส้นใยป่านศรนารายณ์ เพื่อใช้เป็นต้นแบบและแนวทางสำหรับผู้สนใจที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาการบดอัดดินแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) ของดินซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยป่านศรนารายณ์ ที่อัตราส่วนที่แตกต่างกัน

2.2 เพื่อศึกษากำลังรับแรงอัดตามแนวแกน (Axial Compressive Strength) ของดินซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยป่านศรนารายณ์ ที่อัตราส่วนและอายุการบ่มที่แตกต่างกัน

3. ทบทวนวรรณกรรม

3.1 ป่านศรนารายณ์

ป่านศรนารายณ์ [2] มีถิ่นกำเนิดบริเวณอเมริกากลาง และอเมริกาใต้ ใช้คำเรียกว่า ไชซอล (Sisal) ตามชื่อท่าเรือในแคว้นยูคาตัน เปอริลซัล ประเทศเม็กซิโก โดยประเทศไทย หลวงอินทร์ชาติสังหาร เป็นผู้นำป่านศรนารายณ์มาปลูกในไทยเป็นคนแรก ก่อนสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยปลูกบนที่ดินส่วนตัวใน อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จากหน่อที่นำมาจากต่างประเทศ จากนั้นได้นำหน่อไปแจกจ่ายให้ให้แก่ชาวบ้านรอบข้างปลูก เพื่อผลิตเป็นเส้นใยสำหรับใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ [3] และในปี 2505 กรมวิชาการเกษตรได้ทดลองปลูกป่านศรนารายณ์ที่สถานีทดลองพืชไร่นาสูง อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา ในพื้นที่ 1 ไร่ ใช้หน่อพันธุ์ป่านประมาณ 1330 หน่อ ซึ่งพบว่าสามารถเก็บผลผลิตได้หลังปลูกประมาณปีที่ 3 และเก็บผลผลิตได้นานประมาณ 6 ปี (ปี 2513-2518) และในปี 2528 ได้มี

การตั้งโรงงานผลิตเชือกป่านศรนารายณ์ ชื่อบริษัทสนเขียว จำกัด ที่อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีกำลังการผลิตประมาณ 480 ตันต่อปี

ป่านศรนารายณ์เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวใบมีเส้นใยนำไปใช้ประโยชน์ได้ เส้นใยมีลักษณะแข็ง (ดังแสดงในรูปที่ 1) เหมาะสมสำหรับใช้ในการอุตสาหกรรม การทำเชือก โดยเฉพาะเชือกที่ใช้ในทะเล โดยมีลักษณะทั่วไปดังนี้

1. ลักษณะต้น เป็นกอ มีใบแตกออกไปโดยรอบ เวียนเป็นวง ตั้งแต่โคนต้นถึงยอดสูงประมาณ 1–3 เมตร ใบหนาฉ่ำ ใยเรียบ ไม่มีก้านใบ สีเขียวสดจนถึงเขียวเข้ม ยาวประมาณ 100–200 เซนติเมตร ปลายใบหยาบ ลักษณะสีดำขอบใบเรียบ
2. ระบบราก มีรากฝอยแผ่กว้างออกไปในแนวลาดนอน ไม่มีรากแก้ว
3. อายุและการออกดอก ก้านดอก จะเกิดบริเวณตอนกลางของตา ตอนส่วนยอดของต้น และเกิดเมื่อป่านมีอายุ 7–20 ปี หลังจากต้นป่านออกดอกแล้วจะตาย ก้านดอกจะเจริญเติบโตเป็นแนวยาวขึ้นตรงไปในอากาศ ประมาณ 4.5–7.5 เมตร (ดังแสดงในรูปที่ 2)



รูปที่ 1 เส้นใยป่านศรนารายณ์



รูปที่ 2 ลักษณะต้นป่านศรนารายณ์

3.2 ดินลูกรัง

ดินลูกรัง (Lateritic Soil) เกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศร้อนหรือกึ่งร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูงมีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือสามารถแข็งตัวได้เมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศ [4] และมีสีแดงเพราะมีออกไซด์ของเหล็กหรือลูมิเนียมในปริมาณสูง โดยที่ปริมาณความแตกต่างและซิลิเกตปฐมภูมิ (Primary Silicate) มีน้อยมาก แต่ในบางครั้งอาจมีแร่ควอตซ์และคาโอลินท์ในปริมาณสูง โดยคุณสมบัติของดินลูกรังจะขึ้นอยู่กับชนิดของต้นกำเนิดชนิดของหินเดิมส่วนประกอบทางเคมีและสภาพภูมิอากาศ โดยดินลูกรังในประเทศไทยสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ตามลักษณะการเกิด [5] ได้แก่ 1) Primary Lateritic Soils คือดินลูกรังซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูงและเกิดอยู่กับที่เหนือหินต้นกำเนิด 2) Secondary Lateritic Soils คือดินลูกรังที่เกิดขึ้นโดยการเคลื่อนย้ายมาจากแหล่งหินต้นกำเนิดอื่น

4. อุปกรณ์และระเบียบวิธี

4.1 วิธีการเตรียมวัสดุอุปกรณ์

4.1.1 ดินลูกรัง ใช้ตัวอย่างดินจาก ตำบลโพรงมะเดื่อ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม โดยนำมาตากแห้ง (Sun dried) แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องเปิด 4 มิลลิเมตร

4.1.2 ปูนซีเมนต์ (Cement) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป

4.1.3 น้ำ น้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำประปาที่มีความสะอาด

4.1.4 เส้นใยป่านศรนารายณ์ ใช้ตัวอย่างเส้นใยก่อนขึ้นรูปเป็นเชือกป่าน โดยเส้นใยป่านศรนารายณ์ต้องอยู่ในสภาพแห้ง แล้วตัดให้มีความยาวเท่ากับ 20 มิลลิเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 3)

4.1.5 แบบหล่อตัวอย่างใช้แบบเหล็กรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ความสูง 20 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 4)



รูปที่ 3 ตัวอย่างเส้นใยป่านศรนารายณ์



รูปที่ 4 แบบหล่อตัวอย่างรูปทรงกระบอก

4.2 ระเบียบวิธีการทดสอบ

4.2.1 การหาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดิน

- การหาความถ่วงจำเพาะเม็ดดิน ระบุตามมาตรฐาน ASTM D 854
- การหาขนาดคละของเม็ดดิน ระบุตามมาตรฐาน ASTM D 2487 และ ASTM D 422
- การหาขีดจำกัดแอดเตอร์ เบอร์ก (Atterberg's Limit) ได้แก่ ขีดจำกัดความเหลว (Liquid Limit, LL) ขีดจำกัดความเหนียว (Plastic Limit, PL) และดัชนีความเหนียว (Plasticity Index, PI) ระบุตามมาตรฐาน ASTM D 4318

4.2.2 ทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) ของดินลูกรังผสมซีเมนต์ ระบุตามมาตรฐาน ASTM D698 เพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density, MDD) และ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังที่อัตราส่วน 1:7 และปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่น้ำหนัก 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 กรัม ตามลำดับ

4.2.3 ทดสอบกำลังรับแรงอัดตามแนวแกน โดยการเตรียมตัวอย่างแบบหล่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

10 เซนติเมตร และความสูง 20 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยใช้น้ำที่ OMC และทำการบดอัดแบบสถิตยศาสตร์ (Static Compaction) ซึ่งเป็นเทคนิคการบดอัดแบบคงที่ในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งดินที่ทำการบดอัดเป็นชั้นๆ ที่เท่ากัน โดยควบคุมปริมาตรของดินให้เท่ากับค่าที่คำนวณได้จากความหนาแน่นแห้งสูงสุดไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของ MDD ซึ่งตัวอย่างที่ถอดออกจากแบบหล่อแล้วแผ่นฟิล์มมาห่อหุ้มตัวอย่างให้มิดชิดนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบอายุการบ่มที่ 3, 7, 14 และ 28 วัน แล้วนำตัวอย่างมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง และชั่งน้ำหนัก แล้วทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามแนวแกนทันที (ดังแสดงในรูปที่ 5)



ก่อนการทดสอบ

หลังการทดสอบ

รูปที่ 5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดตามแนวแกน

5. ผลการทดสอบและวิจารณ์

5.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินลูกรัง

ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินลูกรังก่อนการร่อนผ่านช่องเปิดขนาด 4 มิลลิเมตร พบว่า ดินลูกรังมีค่าขีดจำกัดความเหลวร้อยละ 29.83 ขีดจำกัดความเหนียวร้อยละ 17.40 และค่าดัชนีความเหนียวร้อยละ 12.43 ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของดินลูกรังตามระบบเอกภาพ (Unified Soil Classification) พบว่าเป็นกลุ่ม SP ชื่อ Poorly Graded SAND with Gravel และให้ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.83 (ดังแสดงในตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินลูกรัง

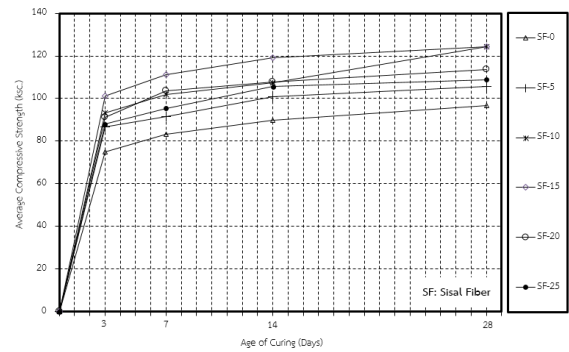
คุณสมบัติทั่วไป	ผลการทดสอบ
Texture Composition:	
Gravel; >4.75 mm. (%)	38.02
Coarse Sand; 4.75-0.425 mm. (%)	38.96
Fine Sand; 0.425-0.075 mm. (%)	21.90
Silt and Clay; ≤0.075 mm. (%)	1.12
Physical Properties:	
Liquid Limit (%)	29.83
Plastic Limit (%)	17.40
Plasticity Index (%)	12.43
Specific Gravity	2.83
Unified Soil Classification	SP (Poorly Graded SAND with Gravel)

5.2 ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐานของดินลูกรังผสมซีเมนต์และเส้นใยป่านศรนารายณ์

ผลการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานของดินลูกรังที่ผสมปูนซีเมนต์และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่น้ำหนัก 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ พบว่า ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (OMC) ที่ร้อยละ 9.73, 9.91, 10.02, 10.05, 10.10 และ 10.14 ที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (MDD) เท่ากับ 2.05, 2.08, 2.11, 2.13, 2.10 และ 2.08 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

5.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามแนวแกน

5.3.1 อิทธิพลของอายุการบ่มที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนของดินซีเมนต์บดอัดผสมเส้นใยป่านศรนารายณ์ ที่น้ำหนัก 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 กรัม ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 6)



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนเฉลี่ยกับอายุการบ่มของดินซีเมนต์บดอัดที่เส้นใยป่านศรนารายณ์แตกต่างกัน

จากรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนเฉลี่ยกับอายุการบ่มของดินซีเมนต์บดอัดที่เส้นใยป่านศรนารายณ์แตกต่างกัน พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้นในทุกปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวเป็นผลของ Pozzolanic reaction ที่มีบทบาททำให้ดินซีเมนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าระยะเวลาในช่วงแรก สอดคล้องกับการศึกษาของ Moh [6] และที่อายุการบ่ม 28 วัน ดินซีเมนต์บดอัดผสมเส้นใยป่านศรนารายณ์ ให้ค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนเฉลี่ยสูงสุดที่ 96.60, 105.67, 111.59, 124.49, 113.72 และ 108.96 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อเปรียบเทียบกับดินซีเมนต์บดอัดที่ไม่ผสมเส้นใยป่านศรนารายณ์ พบว่าให้ค่าเพิ่มขึ้นในทุกปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผสม โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.39, 15.52, 28.87, 17.72 และ 12.79 ตามลำดับ

5.3.2 อิทธิพลของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนของดินซีเมนต์บดอัดที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 7)

ลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 9.73-10.14 ตามลำดับ

6.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามแนวแกน

ค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้นในทุกปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ โดยที่อายุการบ่ม 28 วัน ให้ค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนเฉลี่ยสูงสุด และเปรียบเทียบกับดินซีเมนต์บดอัดที่ไม่ผสมเส้นใยป่านศรนารายณ์ ให้ค่าเพิ่มขึ้นในทุกปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผสม โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.39, 15.52, 28.87, 17.72 และ 12.79 ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่เพิ่มขึ้นในทุกอายุการบ่ม โดยปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 15 กรัม ให้ค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนเฉลี่ยสูงสุดที่ 124.49 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และส่วนรูปแบบการวิบัติของตัวอย่างเป็นการแตกแบบผ่าซีกหรือแบบคอลัมน์ (Splitting or Columnar failure)

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณย่าแปลก เหมือนบัว ผู้ก่อตั้งมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายธนภุต เหล่าบุญมา นายมงคลวิทย์ ไชยโคตร นายวิศิษฐ์ ศักดิ์สิงห์ และ นายสิทธิ์ทัศน์ เพ็ญจันทิก นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ที่ดำเนินการทดสอบและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์และห้องปฏิบัติการคอนกรีต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัยอย่างดียิ่ง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] วราธร แก้วแสง (2559). พฤติกรรมการรับแรงดัดของคานดินซีเมนต์บดอัด, *การประชุมวิชาการ*

ระดับชาติสหวิทยาการเอเชียอาคเนย์ ครั้งที่ 3, มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์, หน้า 1073.

- [2] ป่านศรนารายณ์ (Sisal) ประโยชน์ และการปลูก ป่านศรนารายณ์, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://puechkaset.com/> เข้าดู เมื่อ วันที่ 1/03/2569.
- [3] ยุพา ศีตีสาร (2538). ป่านศรนารายณ์, สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- [4] Alexander, L.T. and Cady, F.G. (1962). Genesis and hardening of laterite in soils. Technical Bulletin 1282. US department of agriculture, Washington, D.C, p.90
- [5] Hongsnoi, M. (1969). Effect of method of preparation on the compaction and strength characteristics of lateritic soil. M. Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand.
- [6] Moh, Z.C. (1965). *Reactions of Soil Minerals with Cement and Chemicals*, Highway Research Record 86, Washington, pp.39-61.

ประวัติผู้เขียนบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วราธร แก้วแสง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา และ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มีความสนใจในงานวิจัยด้าน Polymerization Technique, Earth Building, Cement Stabilized Rammed Earth (CSRE) เป็นต้น

