สภาพความชื้นต่อกำลังของหินศิลาแลงสำหรับการก่อสร้างที่ไม่ใช้วัสดุเชื่อมประสาน
Moisture condition on Strength of Laterite Stone for Non-binding Material Construction

แสงสุรีย์ พังแดง[1,*] ดารุณี แก้วพิกุล[2] ธวัชชัย โทอินทร์[3] และ ศราวรณ์ ศาศวัตภิรมย์ [4]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม จ.นครพนม
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น
[3] สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จ. ขอนแก่น
[4] บริษัท ไทยอาร์ตไนน์ จำกัด จ.นนทบุรี
**Corresponding author; E-mail saengsuree@npu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินศิลาแลงเพื่อการก่อสร้างโครงสร้างทางวัฒนธรรมโบราณที่มีการกำหนดไม่ให้มีการใช้วัสดุเชื่อมประสานเพื่อคงความเป็นอัตลักษณ์และความสวยงาม โดยทำการศึกษาวัสดุศิลาแลงธรรมชาติจากพื้นที่อำเภอโพนนาแก้ว จังหวัดสกลนคร ทำการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุศิลาแลงที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพความชื้น พบว่าวัสดุที่มีสภาพความชื้นที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่สภาพแห้งในอากาศจนถึงสภาพเปียกน้ำมีหน่วยน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น แต่ความแข็งแรงลดลงตามลำดับ โดยที่สภาพเปียกน้ำวัสดุจะหนักและอ่อนแอที่สุด คือ มีหน่วยน้ำหนักท่ากับ 2769 กก/ม^3 ค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 53 กก/ซม^2 ค่าโมดูลัสแตกร้าวเท่ากับ 2 กก/ซม^2 ค่ากำลังรับแรงเฉือนเท่ากับ 13 กก/ซม^2 และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตย์ที่ผิวเท่ากับ 0.56 การเลือกใช้คุณสมบัติของวัสดุศิลาแลงนี้ในสภาพวิกฤตคืออยู่ในสภาพเปียกน้ำในการออกแบบโครงสร้าง จะทำให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริงและโครงสร้างมีความปลอดภัย

คำสำคัญ: กำลัง, ความชื้น, หินศิลาแลง, เชื่อมประสาน

Abstract

This study reported the engineering property of laterite brick for ancient structure construction without using of cementing mortar. Natural laterite brick from Phonnakaew district, Sakhon Nakhon province was used and tested for engineering strength with varied moisture condition. The result shown increasing of moisture from air dried to wet condition affected the increment of unit weight and reduction of brick strength. In wet condition, highest unit weight of 2769 kg/m^3, lowest compressive strength, modulus of rupture and shear strength of 53, 2, and 13 ksc and static friction coefficient of 0.56 were presented respectively. Those of critical strength values in wet condition are relate to practical using and safety design of laterite brick.

Keywords: Strength, moisture, laterite, Non-cementing

1. คำนำ

หินศิลาแลงเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่มีความสวยงามด้วยการให้ลักษณะผิวที่มีเอกลักษณ์เฉพาะ มีการใช้งานมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยจะเห็นว่าโครงสร้างทางวัฒนธรรมสมัยเก่ามักจะก่อสร้างด้วยหินศิลาแลง เนื่องจากหินศิลาแลงเป็นแร่หินทางธรรมชาติที่หาได้ง่าย มีความแข็งแรง สามารถนำมาตัดขึ้นรูปในลักษณะต่างๆตามที่ต้องการได้ [1] โดยหินศิลาแลงธรรมชาติจะมีความแข็งแรงในด้านการรับกำลังที่ต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งของวัสดุ โครงสร้างภายในเนื้อหิน และความชื้น ปัจจุบันมีนักวิจัยพยายามคิดค้นศิลาแลงเทียมที่สามารถกำหนดความแข็งแรงได้ด้วยการใช้หินลูกรังมาผสมกับวัสดุประสานแล้วอัดขึ้นรูป มีความแข็งแรงและรับกำลังอัดได้ดี [2, 3]

การก่อสร้างด้วยหินศิลาแลง จะต้องนำศิลาแลงในรูปแบบต่างๆมาเรียงต่อกันโดยใช้วัสดุเชื่อมประสานเช่น มอร์ตาร์ เพื่อให้เกิดการยึดเกาะกันของโครงสร้างและสามารถถ่ายน้ำหนักภายในโครงสร้างได้ [4] พฤติกรรมการรับน้ำหนักของศิลาแลงจะรับแรงอัดเป็นสำคัญ ถ้าหากไม่ใช้วัสดุประสานยึดระหว่างก้อนศิลาแลง เมื่อมีแรงกระทำในโครงสร้างก้อนศิลาแลงจะพยายามเคลื่อนตัว โดยจะเกิดแรงเฉือนที่ผิวรอยต่อ ซึ่งจะต้านทานด้วยแรงเสียดทานระหว่างผิวของวัสดุ ในการออกแบบโครงสร้างศิลาแลงจึงต้องมีการคำนึงถึงค่าความเสียดทานที่ผิวของหินศิลาแลงด้วยเพื่อรับแรงเฉือนของโครงสร้างนอกเหนือจากความสามารถในการรับแรงเฉือนของวัสดุเอง

บทความนี้จึงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของศิลาแลงธรรมชาติ โดยมีเป้าหมายเพื่อนำค่ากำลังมาใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการก่อสร้างเจดีย์ศิลาแลงที่ไม่ใช้วัสดุประสานในการเชื่อมต่อชิ้นส่วน ประกอบไปด้วยกำลังรับแรงอัด แรงดึง แรงเฉือน และแรงเสียดทาน โดยมีการทดสอบในสภาพความชื้นทั้งเปียกและแห้ง เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริงของวัสดุศิลาแลงที่ต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี การศึกษานี้เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการนำศิลาแลงธรรมชาติไปใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป

2. การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

2.1 การเตรียมตัวอย่างหินศิลาแลง

ศิลาแลงธรรมชาติที่ใช้ในการศึกษามาจากแหล่งหินในพื้นที่วัดพุทธโมกพลาราม อ.โพนนาแก้ว จ.สกลนคร โดยลักษณะจะเป็นลานหินหนาประมาณ 1-2 เมตร ครอบคลุมพื้นที่วัด มีความลึกจากผิวดินประมาณ 50 เซ็นติเมตรดังรูปที่ 1 เมื่อได้ศิลาแลงมาแล้วจะทำการตัดด้วยใบตัดให้มีขนาดตามที่ต้องการ

(ก)



(ข)



รูปที่ 1 (ก) หินศิลาแลงธรรมชาติ (ข) ก้อนตัวอย่างสำหรับทดสอบ

เนื้อศิลาแลงมีความพรุนตัวสูงมีดินเหนียวแทรกอยู่ตามโพรงของเนื้อวัสดุ ศิลาแลงที่นำมาศึกษา มีค่าปริมาณโพรงและการดูดซึมน้ำเมื่อทดสอบด้วยวิธี ASTM C642 [5] เท่ากับร้อยละ 12 และ 4.53 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณโพรงนี้เป็นโพรงของน้ำและอากาศที่อยู่ในเนื้อวัสดุทั้งหมด ได้แก่ เนื้อหินศิลาแลงและดินเหนียว

2.2 การทดสอบ

2.2.1 กำลังรับแรงอัด

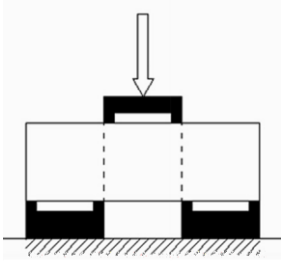
ใช้ตัวอย่างศิลาแลงขนาด 15x15x15 เซนติเมตร ในการทดสอบกำลังรับแรงอัด ทำการทดสอบตามมาตรฐาน BS 1881-116 [6] เปลี่ยนแปลงสภาพความชื้นของตัวอย่างตั้งแต่แห้งด้วยอากาศเป็นเวลา 1 อาทิตย์ไปจนถึงสภาพเปียกด้วยการแช่ในน้ำ 48 ชั่วโมง โดยสภาพความชื้นช่วงกลางระหว่างเปียกและแห้งกำหนดโดยการนำตัวอย่างเปียกมาปล่อยให้แห้งด้วยอากาศเป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

2.2.2 กำลังรับแรงดัด

ใช้ตัวอย่างขนาด 15x15x75 เซนติเมตร ในการทดสอบกำลังรับแรงดัดหรือโมดูลัสแตกร้าว ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C78 [7] ทดสอบในสภาพความชื้นแห้งด้วยอากาศและสภาพเปียกซึ่งเป็นสภาพที่แข็งแรงและอ่อนแอที่สุด

2.2.3 กำลังรับแรงเฉือนตรง

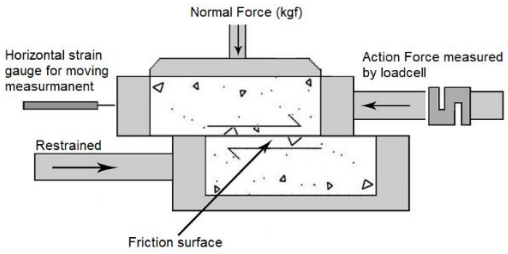
ใช้ตัวอย่างขนาด 5x15x15 เซนติเมตร ในการทดสอบแรงเฉือนตรง ทำการทดสอบด้วยการประยุกต์ใช้วิธีของ Soetens T. [8] ทดสอบในสภาพความชื้นแห้งด้วยอากาศและสภาพเปียกซึ่งเป็นสภาพที่แข็งแรงและอ่อนแอที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การทดสอบแรงเฉือนตรงแบบ JSCE

2.2.4 แรงเสียดทานที่ผิว

ใช้ตัวอย่างขนาด 30x45x15 เซนติเมตร ในการทดสอบแรงเสียดทานที่ผิว ทำการทดสอบด้วยการประยุกต์ใช้วิธีของ Bekker A.T. [9] ทดสอบในสภาพความชื้นแห้งด้วยอากาศและสภาพเปียกซึ่งเป็นสภาพที่แข็งแรงและอ่อนแอที่สุดดังแสดงในรูปที่ 3



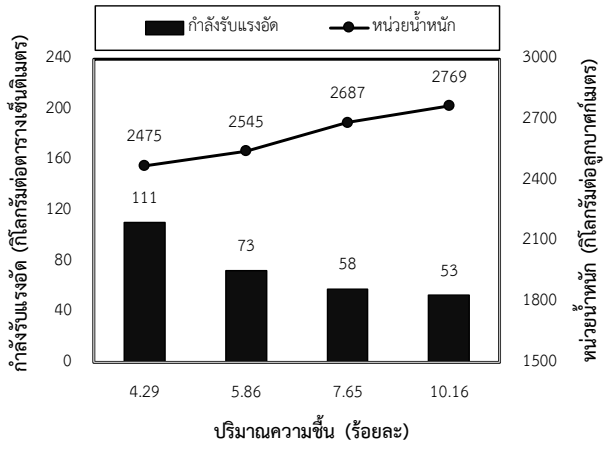
รูปที่ 3 การทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ผิว

3. ผลการทดสอบ

สภาพความชื้นของวัสดุศิลาแลงมีอิทธิผลอย่างมากต่อความแข็งแรงของวัสดุ พบว่า วัสดุในสภาพแห้งด้วยอากาศมีความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 4.29 มีกำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ 111 กก/ซม^2 เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 5.86 7.65 และ 10.16 ซึ่งคือสภาพเปียก ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงเท่ากับ 73 58 และ 53 กก/ซม^2 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4 ในขณะที่ค่าหน่วยน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้นจากสภาพแห้งถึงเปียกตั้งแต่ 2475 2545 2687 และ 2769 กก/ม^3 ตามลำดับ

โดยทั่วไปวัสดุศิลาแลงจะมีโพรงอยู่ปริมาณที่สูง [10] ซึ่งดินและวัสดุอินทรีย์อื่นสามารถแทรกตัวอยู่ได้ ศิลาแลงในแต่ละแหล่งนั้นจึงมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ส่วนที่รับน้ำหนักและให้กำลังได้แก่เนื้อหิน โดยดินเหนียวที่แทรกตัวอยู่จะสูญเสียกำลังเมื่อได้รับความชื้นเพียงเล็กน้อย [11] ทั้งนี้เนื้อหินเองก็มีแนวโน้มของการสูญเสียกำลังรับแรงอัดเช่นกัน เนื่องจากความชื้นที่อยู่ในช่องว่างจะช่วยกระจายความเค้นได้ดี [12] ส่งผลให้เนื้อหินมีค่ากำลังอัดที่ลดลง

ความชื้นที่แทรกตัวอยู่ในเนื้อหินและดินเหนียวยังทำให้หน่วยน้ำหนักของวัสดุเพิ่มมากยิ่งขึ้น เนื่องจากวัสดุเมื่ออยู่ในสภาพแห้งโพรงและช่องว่างทั้งหมดจะมีอากาศแทรกตัวอยู่ เมื่อได้รับความชื้น น้ำที่มีน้ำหนักมากกว่าอากาศจึงเข้ามาแทนที่ ส่งผลให้วัสดุมีหน่วยน้ำหนักที่สูงขึ้น ผลการทดสอบจะเห็นว่าศิลาแลงมีค่าหน่วยน้ำหนักมากกว่าคอนกรีต โดยที่คอนกรีตจะมีค่าหน่วยน้ำหนักที่ประมาณ 2400 กก/ม^3 [13] โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสภาพเปียกจะมีค่าสูงถึง 2769 กก/ม^3 และมีความแข็งแรงต่ำที่สุดอีกด้วย ในการคำนวนน้ำหนักและออกแบบโครงสร้างจึงควรพิจารณาให้วัสดุอยู่ในสภาพเปียกน้ำ



รูปที่ 4 หน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัดของหินศิลาแลงตามปริมาณความชื้น

ความชื้นที่เพิ่มขึ้นในวัสดุศิลาแลงยังส่งผลให้กำลังรับแรงดึงและแรงเฉือนลดลงอย่างชัดเจนดังแสดงในตารางที่ 1 ในส่วนกำลังรับแรงดึงพบว่าเมื่อวัสดุอยู่ในสภาพปียกค่าโมดูลัสแตกร้าวลดลงจากสภาพแห้งเท่ากับ 5 เป็น 2 กก/ซม^2 เมื่อเทียบเป็นสัดส่วนต่อกำลังอัด (*R/Fc'*) มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.52 และ 3.81 ตามลำดับ ในขณะที่คอนกรีตมีค่า *R/Fc'* เท่ากับร้อยละ 11-23 [14] ค่า *R* ของศิลาแลงมีค่าใกล้เคียงกับวัสดุคอนกรีตพรุน [15] เนื่องจากดินเหนียวที่อยู่ในโพรงนั้นรับกำลังดึงได้ต่ำมาก แรงดึงทั้งหมดจึงรับโดยเนื้อหินล้วนซึ่งมีปริมาณโพรงสูง นอกจากนี้เนื้อหินศิลาแลงนั้นยังประกอบไปด้วยแร่เหล็กฮีมาไทต์ (Fe_2O_3) และเป็นสนิมและเปลี่ยนสภาพเป็นดินมีกำลังต่ำลงอยู่ด้านนอกเม็ดหิน ทำให้รอยต่อของเม็ดหินมีกำลังต่ำส่งผลให้รับแรงดึงได้ลดลง

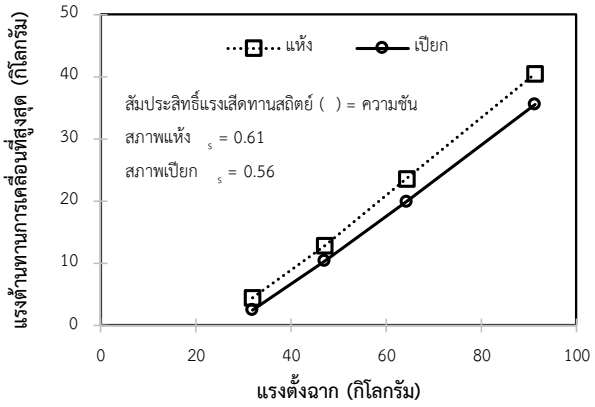
ตารางที่ 1 โมดูลัสแตกร้าวและกำลังรับแรงเฉือนของหินศิลาแลง

สภาพความชื้น	โมดูลัสแตกร้าว *(R)* (กก./ตร.ซม.)	กำลังรับแรงอัด *(F_c')* (กก./ตร.ซม.)	*R/F_c'* (ร้อยละ)	$\sqrt{F_c'}$	กำลังรับแรงเฉือน *(V_c)* (กก./ตร.ซม.)	*k*
แห้ง	5	111	4.52	10.54	19	1.80
เปียก	2	53	3.81	7.28	13	1.79

** $V_c = k\sqrt{F_c'}$

กำลังรับแรงเฉือนของศิลาแลงมีค่าสูงในสภาพแห้งและลดลงเมื่ออยู่ในสภาพเปียกที่ 19 และ 13 กก/ซม^2 คิดเป็นสัดส่วนต่อกำลังอัดเท่ากับร้อยละ 17 และ 35.8 ตามลำดับ ขณะที่ในวัสดุคอนกรีตนั้น กำลังเฉือนมีค่าสูงกว่ากำลังดึงโดยตรงประมาณร้อยละ 20 ถึง 30 (หรือกำลังเฉือนมีค่าประมาณร้อยละ 12 ของกำลังอัด) ขณะที่นักวิจัยอีกหลายคนกล่าวว่าการรับกำลังเฉือนของคอนกรีตมีค่าสูงกว่าการรับกำลังดึงหลายเท่าโดยมีค่าประมาณร้อยละ 50 ถึง 90 ของกำลังอัด [16] เมื่อจัดให้อยู่ในรูป $V_c = k\sqrt{F_c'}$ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันทั้งสภาพแห้งและเปียกที่ 1.80 และ 1.79 ในการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดให้คอนกรีตมีค่า *k* ไม่เกิน 0.53 สำหรับคานคอนกรีตไม่อัดแรงเมื่อมีแรงเฉือนและแรงดัดกระทำต่อองค์อาคารเท่านั้น และเพิ่มเป็น 1.06 สำหรับกรณีของพื้นและฐานรากคอนกรีต [17]

โครงสร้างที่เกิดจากการนำชิ้นส่วนศิลาแลงมาวางเรียนกันนั้นจะเกิดรอยต่อระหว่างก้อนที่สามารถเลื่อนสไลด์ได้เมื่อเกิดแรงเฉือนผ่านผิวสัมผัส โดยที่ผิวนั้นจะมีแรงเสียดทานต้านทานการเลื่อนผ่านที่อยู่ในรูปของ $F_s = \mu_s N$ เมื่อ F_s คือ แรงเสียดทาน μ_s คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ และ *N* คือ แรงตั้งฉากผิวสัมผัส เมื่อทดสอบแรงเสียดทานระหว่างผิวของตัวอย่างศิลาแลงในสภาพแห้งและเปียกดังแสดงในรูปที่ 5 ในสภาพแห้งวัสดุมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์เท่ากับ 0.61 ซึ่งสูงกว่าสภาพเปียกที่ 0.51 โดยมีค่าต่ำกว่าผลการทดสอบของ Wilde (2019) ที่ 0.73 [18]



รูปที่ 5 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ของผิวหินศิลาแลงตามสภาพความชื้น

ในสภาพแห้งศิลาแลงมีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงกว่าสภาพเปียก เนื่องจากความชื้นจะมีแรงตึงผิวของน้ำที่ทำให้ลดการต้านทานแรงเสียดทานของผิวสัมผัสและยังทำให้เม็ดดินและหินศิลาแลงมีกำลังต่ำจึงทำให้เกิดการสไลด์ได้ง่ายมากขึ้น

4. สรุป

สภาพความชื้นที่เพิ่มขึ้นของศิลาแลงธรรมชาติมีผลต่อกำลังที่ลดลง ในสภาพเปียกพบว่าศิลาแลงมีกำลังรับแรงอัด โมดูลัสแตกร้าว แรงเฉือน และแรงเสียดทานที่ผิวเท่ากับร้อยละ 47.7, 40, 68.4 และ 91.8 ของสภาพแห้งตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.9 ซึ่งทำให้องค์โครงสร้างมีน้ำหนักมาก ดังนั้นในการนำค่ากำลังของวัสดุไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างศิลาแลงที่ไม่ใช้วัสดุเชื่อมประสานจะต้องกำหนดใช้วัสดุที่อยู่ในสภาพเปียกที่เป็นสภาพที่โครงสร้างวิกฤตเพื่อให้โครงสร้างมีความปลอดภัยมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบคุณวัดพุทธโมกพลาราม จ. สกลนคร ที่อนุเคราะห์วัสดุศิลาแลงเพื่อใช้ในการศึกษา บริษัท ไทยอาร์ตไนน์ จำกัดที่อนุเคราะห์จัดส่งวัสดุและงบประมาณในการทดสอบ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนครพนม ในการเข้าใช้เครื่องมือศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Bourman R.P. (1993). Perennial problems in the study of laterite: A review. *Australian Journal of Earth Sciences*, 40, (4), pp. 387-401.

[2] พิบูลศุภประดิษฐ ว., หน่วยน้ำหนัก กำลังอัด และการดูดซึมน้ำของบล็อกศิลาแลงเทียมที่ใช้เศษศิลาแลงเป็นมวลรวมหยาบ การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี , 2557.

[3] แสงเทียน น. (2548). ศิลาแลงเทียม. วิศวกรรมสาร มข., 32, (4), pp. 577-584.

[4] Uchida E., Cunin O., Shimoda I., Suda C. and Nakagawa T. (2003). The Construction Process of the Angkor Monuments Elucidated by the Magnetic Susceptibility of Sandstone*. *Archaeometry*, 45, (2), pp. 221-232.
[5] ASTMC642 (2013). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. *ASTM International*,
[6] BS1881-116 (1983). Testing concrete. Method for determination of compressive strength of concrete cubes. *British Standards Institution*,
[7] ASTMC78/C78M (2018). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). *American Society for Testing and Materials*,
[8] Soetens T. and Matthys S. (2017). Shear-stress transfer across a crack in steel fibre-reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 82, pp. 1-13.
[9] Bekker A.T., Uvarova T.E., Pomnikov E.E. and Tyutrin R.S., REVIEW OF METHODS FOR TESTING OF VARIOUS MATERIALS FOR ICE ABRASION RESISTANCE, 22nd International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Espoo, Finland, 2013.
[10] Lohnes R.A. and Demirel T. (1973). Strength and structure of laterites and lateritic soils. *Engineering Geology*, 7, (1), pp. 13-33.
[11] Chapter 6 - Moisture Interaction with Clays and Clay Minerals, in: J.E. Gillott (Ed.), Developments in Geotechnical Engineering, Elsevier1987, pp. 167-217.
[12] Mengel L., Krauss H.-W. and Lowke D. (2020). Water transport through cracks in plain and reinforced concrete – Influencing factors and open questions. *Construction and Building Materials*, 254, pp. 118990.
[13] Plizzari G. and Mindess S., 11 - Fiber-reinforced concrete, in: S. Mindess (Ed.), Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete (Second Edition), Woodhead Publishing2019, pp. 257-287.
[14] Issa C.A., Gerges N.N. and Fawaz S. (2014). The effect of concrete vertical construction joints on the modulus of rupture. *Case Studies in Construction Materials*, 1, pp. 25-32.
[15] Zaetang Y., Sata V., Wongsa A. and Chindaprasirt P. (2016). Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 111, pp. 15-21.
[16] จินดาประเสริฐ ป. and จาตุรพิทักษ์กุล ช., ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต, สมาคมคอนกรีตไทย (ส.ค.ท.), แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพ 2559.
[17] ว.ส.ท.1008-38 (2538). มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง. คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา,
[18] Wilde P.D., Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XVI, Free University of Brussels, Belgium, WIT Transactions on The Built Environment 2019.