

การศึกษาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ ความสามารถในการทำงานได้ และกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางชัน

จักรพันธ์ วงษ์พา¹ ไชยพัฒน์ ทวีทรัพย์พิทักษ์^{2*} สีนาด โกศลนันท์³ กรพินธุ์ อาระหงษ์⁴

^{1,2*,3,4}สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี, จันทบุรี, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล : chaiyapat.t@rbru.ac.th

รับต้นฉบับ : 18 เมษายน 2567; รับบทความฉบับแก้ไข : 9 กรกฎาคม 2567; ตอรับบทความ : 6 สิงหาคม 2567

เผยแพร่ออนไลน์ : 26 ธันวาคม 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์เพสต์และมอร์ตาร์ผสมน้ำยางชันชนิดแอมโมเนียต่ำ โดยทางคุณสมบัติทางกายภาพพิจารณาความชื้นเหลือปกติและระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของซีเมนต์เพสต์ รวมถึงความสามารถในการทำงานได้ของมอร์ตาร์ ส่วนคุณสมบัติทางกลได้ศึกษากำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางชันที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน กำหนดอัตราส่วนการแทนที่ด้วยน้ำยางชันเท่ากับร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักของน้ำ ผลการทดลองพบว่าน้ำยางชันทำให้ซีเมนต์เพสต์มีความต้องการปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลือปกติ และระยะเวลาการก่อตัวต้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ยังทำให้ความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาค่าการไหลให้คงที่ในช่วงร้อยละ 110 ± 5 ส่วนกำลังอัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุมและพบว่าการแทนที่น้ำยางชันในอัตราส่วนร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักของน้ำเป็นอัตราการแทนที่ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้กำลังอัดสูงสุดรองจากมอร์ตาร์ชุดควบคุม กล่าวคือมีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 29.68 MPa ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานทั่วไป และยังมีระยะเวลาการก่อตัวต้นเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมถึง 30 นาที ซึ่งจะทำให้การทำงานสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : ซีเมนต์เพสต์ กำลังอัด น้ำยางชัน ระยะเวลาการก่อตัว ความสามารถในการทำงานได้

A Study of Setting Time of Cement Paste, Workability and Compressive Strength of Mortar Mixed with Concentrated Latex

Jakrapan Wongpa¹ Chaiyapat Thaweesapphithak^{2*} Sinat Koslanant³ Gorapin Arahung⁴

^{1,2*,3,4}*Department of Civil Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: chaiyapat.t@rbru.ac.th

Received: 18 April 2024; Revised: 9 July 2024; Accepted: 6 August 2024

Published online: 26 December 2024

Abstract

The objective of this research is to study the physical and mechanical properties of cement paste and mortar mixed with the Low Ammonia Concentrate Latex (LA-TZ). For physical properties, the normal consistency and the initial setting time of the cement paste samples are determined as well as the workability of the mortar samples. For the mechanical properties, the compressive strength of mortar mixed with concentrated latex are studied at the ages of 3, 7, 14, and 28 days. The replacement ratios of concentrated latex were 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 percent by weight of water. The results of the experiment showed that concentrated latex causes the cement paste to require more water content to obtain the normal consistency condition as well as the increasing of the initial setting time. It also causes the flow value of the mortar to be increased as well. It continues to increase water requirement to maintain the flow value of 110±5 period. It is also found that replacing concentrated latex at a ratio of 1.0 percent by weight of water is the most appropriate replacement rate because it provides the highest compressive strength after the control mixture. The compressive strength of the mortar at the age of 28 days to 29.7 MPa, which is sufficient for general use. Moreover, the initial setting time has been increased to 30 minutes from the control mixture, which makes the operation even more comfortable.

Keywords: Cement paste, Compressive strength, Concentrated latex, Setting time, Workability

1) บทนำ

ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมวัสดุประเภทยางโดยเฉพาะน้ำยางจากต้นยางพาราส่วนมากมีจุดประสงค์ที่จะศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติบางประการให้กับคอนกรีต เช่น กำลังอัด การดูดซึมน้ำ กำลังต้านความทนทานต่อสภาวะกรดและซัลเฟต และการหดตัว เป็นต้น [1]–[11] ซึ่งงานผลจากการวิจัยส่วนมากพบว่าการใช้ยางพาราเป็นส่วนผสมในคอนกรีตมักทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติด้านกำลังอัดและความสามารถในการทำงานได้ลดลง ซึ่งโดยปกติแล้วความสามารถในการทำงานได้และกำลังอัดของคอนกรีตมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากคอนกรีตที่มีความชื้นเหลือของคอนกรีตสูงจะมีความสามารถในการทำงานสูง ส่งผลให้คอนกรีตมีความหนาแน่นสูง [12] และส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงตามไปด้วย [13] ดังนั้น คอนกรีตที่ดีย่อมต้องมีความชื้นเหลือที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กำลังอัดตามต้องการ แต่กลับพบว่าในปัจจุบันยังมียางที่ศึกษาความชื้นเหลือปกติของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางพาราอยู่น้อยมาก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางชั้นมีความชื้นเหลือปกติเทียบเท่าซีเมนต์เพสต์แบบดั้งเดิม รวมถึงการศึกษาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางชั้นในอัตราส่วนต่าง ๆ อีกทั้งยังศึกษากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมน้ำยางชั้นโดยควบคุมค่าการไหลให้อยู่ในช่วงการไหลที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน ASTM C109/109M-23 [14] ผลจากการวิจัยนี้จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ความสำคัญของความสามารถในการทำงานได้ต่อกำลังอัดของคอนกรีตผสมน้ำยางชั้น ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมน้ำยางชั้นให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานจริงต่อไป

2) วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางชั้นมีความชื้นเหลือปกติเทียบเท่าซีเมนต์เพสต์แบบดั้งเดิม รวมถึงการศึกษาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางชั้นในอัตราส่วนต่าง ๆ
2. ศึกษา กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมน้ำยางชั้นโดยควบคุมค่าการไหลให้อยู่ในช่วงการไหลที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน ASTM C109/109M-23

3) วิธีดำเนินการวิจัย

3.1) วัสดุ

3.1.1) *น้ำยางชั้น* ใช้เป็นประเภทแอมโมเนียต่ำ (low ammonia) ผสมเทตระเมทิลไทยูรัมไดซัลไฟด์ (Tetramethylthiuram disulfide: TMTD) ร่วมกับซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) เพื่อรักษาสภาพน้ำยาง หรือที่รู้จักกันในชื่อ LA-TZ จาก บริษัท ดี.เอส.รับเบอร์แอนด์ลาเท็กซ์ จำกัด อัตราส่วนการแทนที่น้ำยางชั้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักของน้ำ

3.1.2) *ปูนซีเมนต์* ใช้เป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2594-2556 [15] เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม [16] เป็นปูนซีเมนต์ใหม่ ไม่เป็ยกขึ้นหรือจับตัวเป็นก้อน

3.1.3) *มวลรวมละเอียด* ใช้เป็นทรายแม่น้ำล้างสะอาด โดยมีขนาดที่สามารถผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 16 และค้างตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 200

3.1.4) *น้ำ* น้ำในส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์และมอร์ตาร์ตลอดงานวิจัยนี้มาจาก 2 ส่วน ส่วนแรกคือน้ำประปาที่ผลิตเองภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี และส่วนที่ 2 คือน้ำที่อยู่ในส่วนผสมของน้ำยางชั้น ซึ่งน้ำยางชั้นมีน้ำผสมอยู่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

3.2) วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1) *การคำนวณปริมาณน้ำในส่วนผสม* เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลของน้ำยางชั้น ต่อคุณสมบัติทางกายภาพซีเมนต์เพสต์โดยเฉพาะความสามารถในการทำงานได้ และกำลังอัดของมอร์ตาร์ ดังนั้น การควบคุมปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ให้ถูกต้องจึงมีความสำคัญมาก และเนื่องจากน้ำยางชั้นมีปริมาณน้ำผสมอยู่ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ดังนั้น ในส่วนผสมซีเมนต์เพสต์และมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้นจึงคิดปริมาณน้ำที่อยู่ในน้ำยางชั้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก รวมกับน้ำประปา เพื่อคำนวณปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ให้ถูกต้องตามจริง

3.2.2) *ความชื้นเหลือปกติของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางชั้น* การหาความชื้นเหลือปกติของซีเมนต์เพสต์ทุกส่วนผสมดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C187-23 [17] โดยกำหนดปริมาณปูนซีเมนต์คงที่เท่ากับ 650 กรัม และปรับปริมาณน้ำด้วยวิธีการแบบสุ่ม ดังตารางที่ 1 ซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการผสมจะถูกนำไปทดสอบแบบไวแคตโดยกำหนดระยะเวลาปล่อยตกเท่ากับ 30 วินาที บันทึกค่าระยะจมไว้ จากนั้นให้ปรับปริมาณน้ำใหม่

ให้ทดสอบซ้ำจนกว่าจะมีค่าระยะจมทั้งที่มากกว่าและน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำค่าปริมาณน้ำและระยะจมไปสร้างเป็นแผนภูมิความสัมพันธ์ โดยปริมาณน้ำที่ทำให้เข็มโวลแคตจมลงในเนื้อซีเมนต์เพสต์ลิก 10 มิลลิเมตร ภายในระยะเวลา 30 วินาที คือปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อให้ได้ซีเมนต์เพสต์ที่มีความชื้นเลวปกติ

ตารางที่ 1 : สัดส่วนผสมซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางชันเพื่อศึกษาปริมาณน้ำที่ความชื้นเลวปกติ

ส่วนผสม	ตัวอย่างที่	ซีเมนต์ (กรัม)	น้ำยางชัน (กรัม)	น้ำ (กรัม)	
				น้ำในน้ำยางชัน (กรัม)	น้ำประปา (กรัม)
CT	1	650	0.00	0.00	189.00
	2	650	0.00	0.00	195.00
	3	650	0.00	0.00	208.00
0.5L	1	650	0.95	0.38	188.62
	2	650	0.98	0.39	194.61
	3	650	1.04	0.42	207.58
1.0L	1	650	2.08	0.83	207.17
	2	650	2.15	0.86	214.14
	3	650	2.21	0.88	220.12
1.5L	1	650	3.23	1.29	213.71
	2	650	3.32	1.33	219.67
	3	650	3.42	1.37	226.63
2.0L	1	650	4.30	1.72	213.28
	2	650	4.42	1.77	219.23
	3	650	4.56	1.82	226.18

หมายเหตุ : ตัวเลขที่ปรากฏในสัญลักษณ์ของส่วนผสมหมายถึงอัตราส่วนการแทนที่น้ำด้วยน้ำยางชันในหน่วยร้อยละ

3.2.3) ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางชัน ส่วนผสมซีเมนต์เพสต์ทุกส่วนผสมที่ได้จากการหาปริมาณน้ำที่ความชื้นเลวปกติในหัวข้อ 3.2 จะนำมาทดสอบหาค่าระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำยางชันที่อัตราส่วนร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักของน้ำต่อระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ วิธีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C191-21 [18]

3.2.4) การไหลแผ่ของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางชัน ในงานวิจัยนี้ ใช้การทดสอบการไหลแผ่เพื่อประเมินความสามารถในการทำงานได้ของมอร์ตาร์ โดยกำหนดให้ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ทุกส่วนผสมมีค่าเท่ากับร้อยละ 110 ± 5 ซึ่งปริมาณน้ำในส่วนผสม

จะใช้การทดลองแบบสุ่มเพื่อหาปริมาณน้ำที่ทำให้มอร์ตาร์ส่วนผสมนั้น ๆ มีค่าการไหลแผ่ตามที่กำหนด อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมละเอียดเท่ากับ 1:2.75 โดยน้ำหนัก โดยที่ทั้งค่าการไหลแผ่และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมละเอียดเป็นไปตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ASTM C109/C109M-23 [14] เพื่อให้ได้มอร์ตาร์ที่มีความสามารถในการทำงานได้เทียบเท่ากันตามมาตรฐาน แล้วจึงนำไปทดสอบกำลังอัดต่อไป ส่วนวิธีทดสอบค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C1437-20 [19]

3.2.5) กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางชัน หลังจากทราบปริมาณน้ำที่ทำให้ค่าการไหลแผ่เท่ากับ 110 ± 5 แล้ว จึงทำการหล่อตัวอย่างลงในแบบหล่อ โดยก้อนตัวอย่างแต่ละก้อนเป็นทรงลูกบาศก์มีความยาวด้านละ 5 เซนติเมตร หลังจากหล่อตัวอย่างครบ 24 ชั่วโมงแล้วจึงถอดแบบและบ่มตัวอย่างต่อน้ำจนถึงอายุทดสอบกำลังอัด โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ วิธีการทดสอบกำลังอัดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C109/C109M-23 [14]

4) ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1) ปริมาณน้ำที่ความชื้นเลวปกติ

ตารางที่ 2 : ระยะจมของหัวทดสอบโวลแคตในซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางชันที่มีปริมาณน้ำแตกต่างกัน

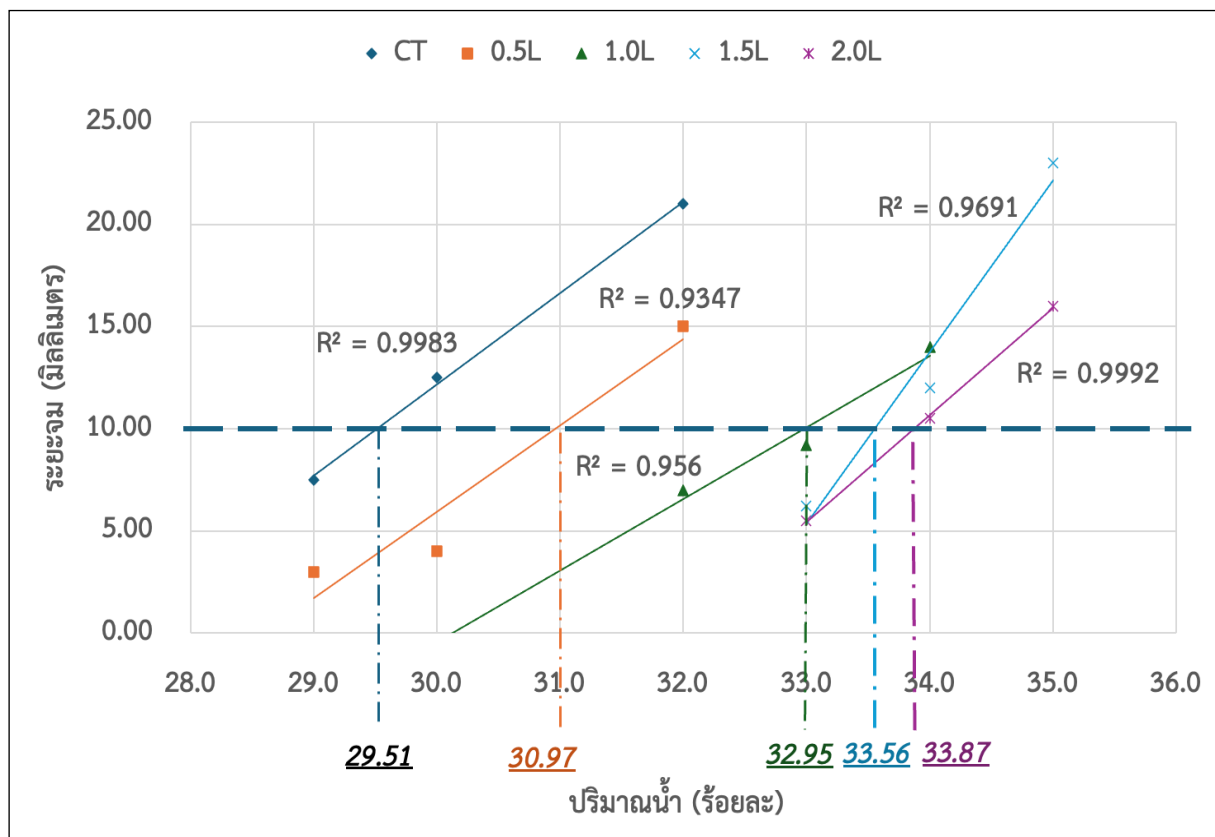
ส่วนผสม	ตัวอย่างที่	ซีเมนต์ (กรัม)	น้ำ		ระยะจม (มม.)
			(กรัม)	(ร้อยละ)	
CT	1	650	189.00	29.08	7.50
	2	650	195.00	30.00	12.50
	3	650	208.00	32.00	21.00
0.5L	1	650	189.00	29.08	3.00
	2	650	195.00	30.00	4.00
	3	650	208.00	32.00	15.00
1.0L	1	650	208.00	32.00	7.00
	2	650	215.00	33.08	9.20
	3	650	221.00	34.00	14.00
1.5L	1	650	215.00	33.08	6.20
	2	650	221.00	34.00	12.00
	3	650	228.00	35.08	23.00
2.0L	1	650	215.00	33.08	5.50
	2	650	221.00	34.00	10.50
	3	650	228.00	35.08	16.00

จากการทดลองหาปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางชันได้ผลการทดสอบระยะจมของหัวทดสอบไวแคตในตารางที่ 2 ซึ่งสามารถนำไปสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและระยะจมของหัวทดสอบไวแคตได้ดังรูปที่ 1 จากรูปพบว่าปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์ที่มีปริมาณน้ำยางชันร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 29.51, 30.97, 32.95, 33.56 และ 33.87 ตามลำดับ และจากผลการทดสอบทำให้พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองในแต่ละส่วนผสมมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (R-Square) เกิน 0.9 ทุกส่วนผสม

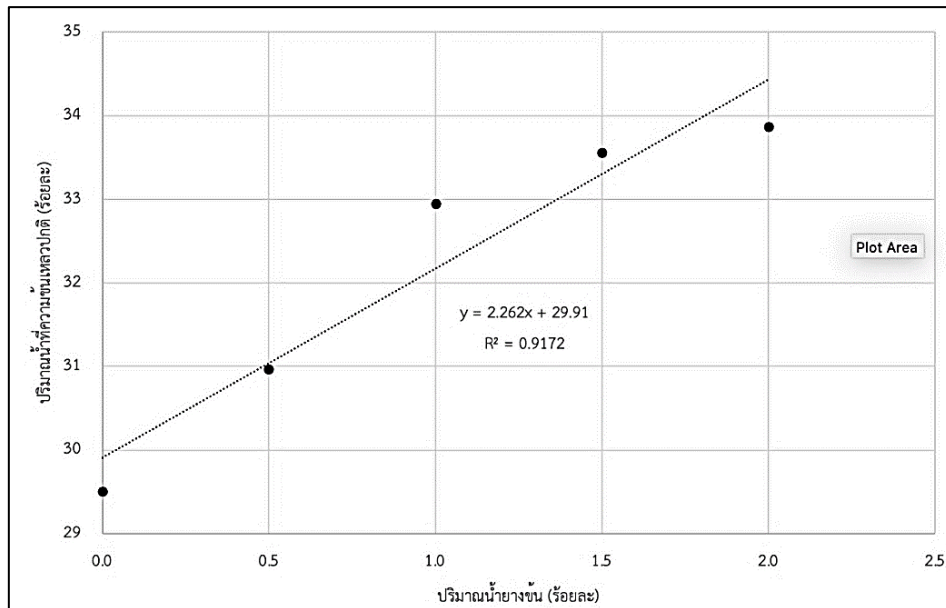
ซึ่งกล่าวได้ว่ายิ่งส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์มีปริมาณน้ำยางชันมากขึ้นยิ่งส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์มีความต้องการน้ำสูงขึ้นเพื่อรักษาให้เนื้อของซีเมนต์เพสต์มีความชื้นเหลวเท่าเดิม ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนจากรูปที่ 2 ซึ่งสมการเส้นตรงในรูปดังกล่าวสามารถใช้ทำนายปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์ที่มีปริมาณน้ำยางชันอื่น ๆ ได้เนื่องจากมีค่า R-Square ที่ 0.92

4.2) ผลทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางชัน

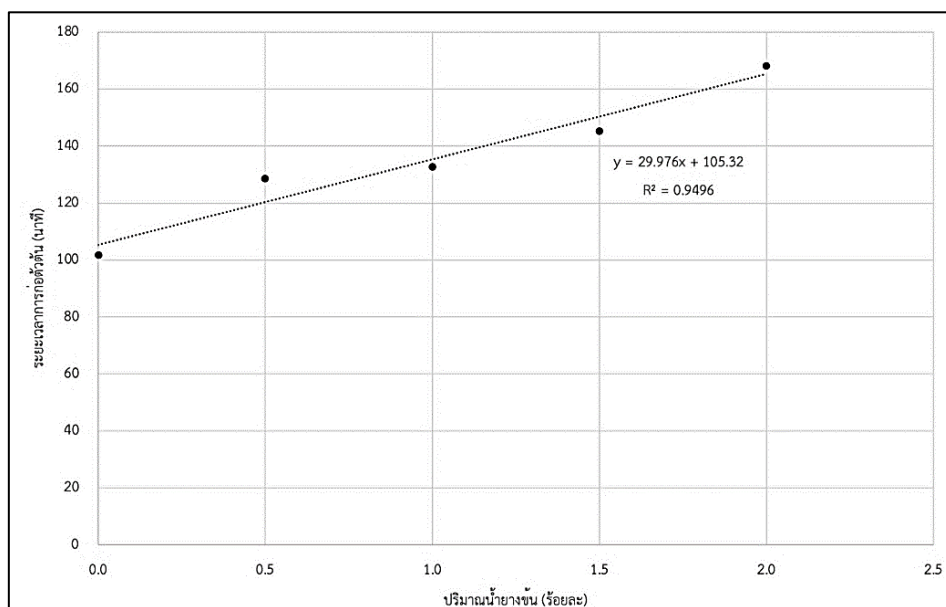
จากการทดสอบพบว่าปริมาณน้ำยางชันส่งผลต่อระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์อย่างมีนัยสำคัญและผลการทดสอบที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 3 ซึ่งจากข้อมูลในตารางพบว่าระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำยางชันที่เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำยางชันร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของน้ำ ส่งผลให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 27 นาที หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 26 เมื่อเทียบกับส่วนผสมชุดควบคุม (CT) ในขณะที่ส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำยางชันร้อยละ 2.0 ซีเมนต์เพสต์จะมีระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 65 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 65 เมื่อเทียบกับส่วนผสมชุด CT ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าปริมาณน้ำมีผลกระทบต่อระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์อย่างมาก เนื่องจากอนุภาคของยางมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 200–800 นาโนเมตร [20], [21] ในขณะที่อนุภาคเม็ดปูนซีเมนต์มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 10–60 ไมโครเมตร [22]



รูปที่ 1 : ความสัมพันธ์ระหว่างระยะจมของหัวทดสอบไวแคตและปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์ที่มีปริมาณน้ำยางชันแตกต่างกัน



รูปที่ 2 : ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลือปกติและปริมาณน้ำที่เติมของซีเมนต์เพสต์



รูปที่ 3 : ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการก่อตัวและปริมาณน้ำที่เติมของซีเมนต์ผสมน้ำที่เติม

ในขณะที่ส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำที่เติมร้อยละ 2.0 ซีเมนต์เพสต์จะมีระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 65 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 65 เมื่อเทียบกับส่วนผสมชุด CT ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าน้ำที่เติมมีผลกระทบต่อระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์อย่างมาก เนื่องจากอนุภาคของยางมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 200–800 นาโนเมตร [20], [21] ในขณะที่อนุภาคเม็ดปูนซีเมนต์มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 10-60 ไมโครเมตร [22] ซึ่งจะทำให้เห็นว่าอนุภาคของยางเล็กกว่าอนุภาคของปูนซีเมนต์โดยเฉลี่ยประมาณ

50 เท่า จึงอาจเป็นไปได้ว่าอนุภาคของน้ำที่เติมเข้าไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างอนุภาคเม็ดปูนซีเมนต์กับน้ำบริเวณผิวเม็ดปูนซีเมนต์ทำให้อนุภาคน้ำเข้าถึงอนุภาคเม็ดปูนซีเมนต์ได้ยาก [20] รูปที่ 3 ได้เสนอสมการที่ใช้ทำนายระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำที่เติมในปริมาณต่างๆ ซึ่งสมการดังกล่าวสามารถใช้ทำนายระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำที่เติมได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากมีค่า R-Square สูงถึง 0.95

ตารางที่ 3 : ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางชันในสัดส่วนต่าง ๆ

ส่วนผสม	ระยะเวลาการก่อตัวต้น (นาท)
CT	101.72
0.5L	128.48
1.0L	132.69
1.5L	145.38
2.0L	166.21

ตารางที่ 4 : ผลทดสอบการไหลของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางชันที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ส่วนผสม	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	ทราย (กรัม)	น้ำ (กรัม)	น้ำใน ยางชัน (กรัม)	ปริมาณ น้ำสุทธิ (กรัม)	ค่าการไหลแผ่ (ร้อยละ)
CTM	1000	2750	690	0	690	113.9
0.5LM	1000	2750	669	1	670	112
1.0LM	1000	2750	667	3	670	111.4
1.5LM	1000	2750	676	4	680	106.2
2.0LM	1000	2750	694	6	700	108.3

ตารางที่ 5 : ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางชันที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ส่วนผสม	กำลังอัด (MPa)				น้ำหนัก (กรัม)
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	
CTM	23.11 (100%)	27.59 (100%)	30.42 (100%)	33.12 (100%)	271
0.5LM	19.45 (84.18%)	23.73 (86.00%)	26.35 (86.61%)	28.27 (85.36%)	264
1.0LM	22.28 (96.42%)	25.92 (93.95%)	29.46 (96.86%)	29.68 (89.61%)	262
1.5LM	19.69 (85.22%)	23.98 (86.90%)	24.61 (80.91%)	27.56 (83.22%)	257
2.0LM	19.17 (82.96%)	21.06 (76.33%)	21.07 (69.27%)	22.93 (69.25%)	256

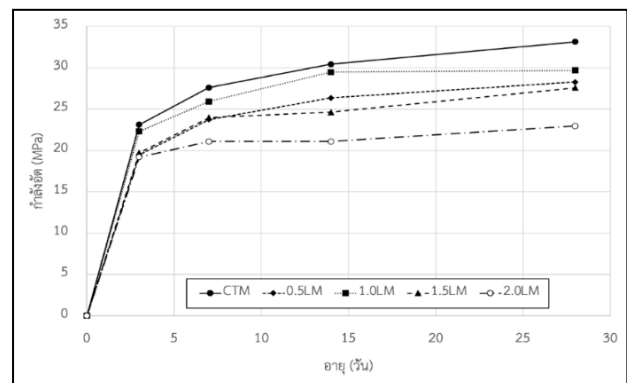
4.3) ผลการทดสอบค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางชัน

จากการทดลองได้ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางชัน ในตารางที่ 4 ซึ่งพบว่าส่วนผสมมอร์ตาร์ 0.5LM ที่มีปริมาณน้ำ ยางชันผสมอยู่ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของน้ำจะส่งผลให้มอร์ตาร์ มีความต้องการน้ำลดลงจาก 690 กรัมเป็น 670 กรัม หรือคิด เป็นร้อยละ 3 เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม (Control Motar: CTM) เพื่อรักษาความสามารถในการทำงานได้หรือค่าการไหลแผ่ ไว้ให้อยู่ในช่วงที่กำหนด ส่วนมอร์ตาร์ 1.0LM และ 1.5LM แม้จะ ยังคงมีความต้องการน้ำน้อยกว่า CTM แต่กลับพบว่ามีความ ต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับส่วนผสม 0.5LM ในขณะที่

ตัวอย่าง 2.0LM มีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและ มากกว่า CTM จึงแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อน้ำยางชันจะทำให้ค่าการไหลของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น แต่การใส่น้ำยางชันในปริมาณ ที่มากขึ้นก็จะส่งผลให้มอร์ตาร์มีความหนืดเพิ่มขึ้นเช่นกัน และค่า ปริมาณน้ำมอร์ตาร์ผสมน้ำยางชันมีแนวโน้มจะมากกว่ามอร์ตาร์ ควบคุมเมื่อมีการแทนที่น้ำยางชันในอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 2.0 ขึ้นไป

4.4) กำลังอัดของมอร์ตาร์

ผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางชันแสดง ในตารางที่ 5 และรูปที่ 4 พบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ทุกส่วนผสม มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น โดยส่วนผสม CTM มีกำลังอัด สูงสุดทุกอายุการทดสอบ สำหรับส่วนผสมที่มีน้ำยางชันเป็นส่วน ประกอบพบว่าที่อายุ 28 วัน 1.0LM มีกำลังอัดสูงที่สุด และมีกำลังอัดประมาณร้อยละ 89.61 ของส่วนผสม CTM ส่วนผสม ที่มีกำลังอัดในลำดับถัดมาได้แก่ 0.5LM, 1.5LM และ 2.0LM ตามลำดับ



รูปที่ 4 : ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุมอร์ตาร์ผสมน้ำยางชัน ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ซึ่งพบว่ากำลังอัดของส่วนผสมดังกล่าวมีค่าเทียบเท่ากับ ร้อยละ 85.36, 83.22 และ 69.25 ของส่วนผสม CTM ตามลำดับ ซึ่งในแง่ของกำลังอัดพบว่าการแทนที่น้ำยางชันในอัตราส่วนไม่เกิน ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักของน้ำสามารถนำไปใช้งานได้เนื่องจากมี กำลังอัดลดลงไม่มากเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม สาเหตุที่ทำให้ มอร์ตาร์ผสมน้ำยางชันมีกำลังอัดมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม เนื่องมาจากอนุภาคของยางจะจับตัวกันเป็นฟิล์มบาง ๆ ซึ่งฟิล์ม ดังกล่าวจะขัดขวางการยึดเกาะกันระหว่างซีเมนต์เพสต์กับ มวลรวม จึงทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดได้ไม่สมบูรณ์ [23] ซึ่ง

หลักฐานดังกล่าวนี้สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับผลทดสอบระยะเวลาการก่อตัวต้นและค่าการไหลแผ่ข้างต้น อนุภาคภายในส่วนผสม นอกจากจะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและขัดขวางการยึดเกาะกันระหว่างปูนซีเมนต์กับมวลรวมแล้วยังพบว่าชั้นฟิล์มดังกล่าวยังส่งผลต่อความหนาแน่นของมอร์ตาร์ดังรูปที่ 5 จากรูปจะสังเกตได้ว่าความหนาแน่นของมอร์ตาร์จะลดลงตามปริมาณน้ำยางชั้นที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้รูปที่ 5 ยังเสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและอัตราส่วนการแทนที่ด้วยน้ำยางชั้น ซึ่งสมการดังกล่าวมีความแม่นยำเนื่องจากมีค่า R-Square เท่ากับ 0.9377 ทั้งนี้ยังพบว่าตัวอย่าง 2.0LM มีความหนาแน่นลดลงจากมอร์ตาร์ควบคุมถึงประมาณร้อยละ 5 จึงส่งผลต่อกำลังอัดที่ลดลงของมอร์ตาร์ในชุดดังกล่าวอย่างเห็นได้ชัด

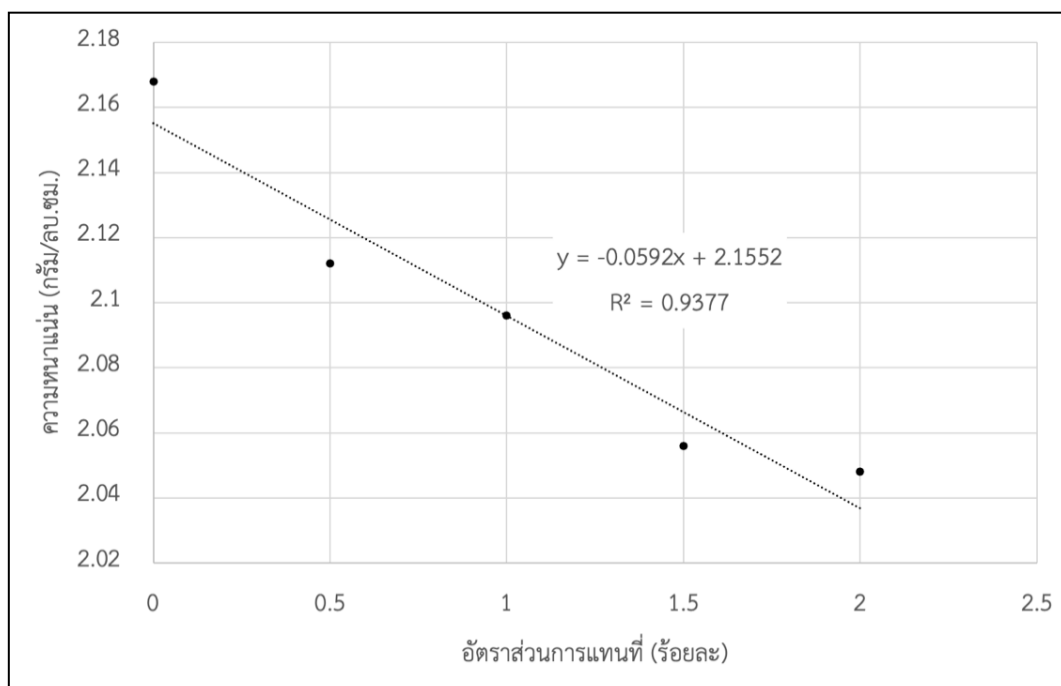
5) สรุปผล

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าน้ำยางชั้นส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์มีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาความชื้นเลวปกติเอาไว้ได้ และยังส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์มีระยะเวลาการก่อตัวต้นเพิ่มขึ้นอย่างน้อยร้อยละ 26 เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ควบคุม นอกจากนี้ น้ำยางชั้นยังส่งผลให้มอร์ตาร์มีความต้องการปริมาณน้ำลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุมเพื่อรักษาค่าการไหลแผ่ให้อยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนด เนื่องจากน้ำยางชั้นไปขัดขวางการ

ยึดเกาะกันระหว่างซีเมนต์เพสต์และมวลรวม ส่งผลให้มอร์ตาร์ผสมน้ำยางชั้นมีกำลังอัดลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม และยังส่งผลให้มอร์ตาร์มีความหนาแน่นลดลงตามปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ปริมาณการแทนที่น้ำยางชั้นที่ดีที่สุดคือร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักของน้ำ เนื่องจากเป็นส่วนผสมที่ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีระยะเวลาการก่อตัวต้นมากขึ้น ในขณะที่ให้กำลังอัดสูงที่สุดในกลุ่มของมอร์ตาร์ที่มีน้ำยางชั้นในส่วนผสม และจากการที่ซีเมนต์เพสต์แข็งตัวช้าลงจะทำให้มอร์ตาร์ในตัวคอนกรีตมีเวลาในการทำงานที่ช้าขึ้น ส่งผลให้การทำงานในด้านคอนกรีตมีเวลาในการทำงานมากขึ้น เช่น การปรับแต่งคอนกรีต เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ปีงบประมาณ 2566 รหัสทุนที่ 2230/2566 ผู้วิจัยขอขอบคุณแหล่งงบประมาณสนับสนุนข้างต้น รวมถึงคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี และบุคลากรประจำห้องปฏิบัติการคอนกรีตและโครงสร้าง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ Malay Hin และมณีนววรรณ สุวันดี ศิษย์เก่าระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่ช่วยดำเนินการทดสอบจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี



รูปที่ 5 : ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางชั้นกับอัตราส่วนการแทนที่

REFERENCES

- [1] C. Kererat, W. Kroehong, S. Thaipun, and P. Chindaprasit, "Bottom ash stabilized with cement and para rubber latex for road base applications," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 17, Dec. 2022, Art. no. e01259, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01259.
- [2] M. Hoy *et al.*, "Effect of wetting and drying cycles on mechanical strength of cement-natural rubber latex stabilized recycled concrete aggregate," *Constr. Build. Mater.*, vol. 394, Aug. 2023, Art. no. 132301, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.132301.
- [3] P. Choi and K.-K. Yun, "Experimental analysis of latex-solid content effect on early-age and autogenous shrinkage of very-early strength latex-modified concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 65, pp. 396–404, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.05.007.
- [4] A. S. Al-Luhybi, I. A. Aziz, and K. I. Mohammad, "Experimental assessment of mechanical and physical performance of latex modified concrete with fine recycled aggregate," *Structures*, vol. 48, pp. 1932–1938, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.jistruc.2023.01.069.
- [5] T. Yaowarat *et al.*, "Improvement of flexural strength of concrete pavements using natural rubber latex," *Constr. Build. Mater.*, vol. 282, May 2021, Art. no. 122704, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122704.
- [6] F. Moodi, A. Kashi, A. A. Ramezaniapour, and M. Pourebrahimi, "Investigation on mechanical and durability properties of polymer and latex-modified concretes," *Constr. Build. Mater.*, vol. 191, pp. 145–154, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.198.
- [7] H. Bilal, T. Chen, M. Ren, X. Gao, and A. Su, "Influence of silica fume, metakaolin & SBR latex on strength and durability performance of pervious concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 275, Mar. 2021, Art. no. 122124, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122124.
- [8] B. Muhammad and M. Ismail, "Performance of natural rubber latex modified concrete in acidic and sulfated environments," *Constr. Build. Mater.*, vol. 31, pp. 129–134, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.099.
- [9] P. Khamput and K. Suweero, "Properties of mortar mixing with medium ammonia concentrated latex," *Energy Procedia*, vol. 9, pp. 559–567, Nov. 2011, doi: 10.1016/j.egypro.2011.09.065.
- [10] P. Nirot, P. Sutthiwattana, and J. Wongpa, "Effects of surfactant on compressive strength and density of concrete containing para rubber latex," (in Thai), *J. King Mongkut's Univ. Technol. North Bangkok*, vol. 33, no. 2, pp. 603–612, 2023.
- [11] B. Warinlai, U. Patipanpoomsakul, and P. Krammart, "Basic properties and carbonation of concrete with partial replacement of cement by rubber latex and limestone powder," (in Thai), *J. Ind. Technol.*, vol. 18, no. 2, pp. 125–142, 2002.
- [12] J. Ahmad, O. Zaid, M. S. Siddique, F. Aslam, H. Alabduljabbar, and K. M. Khedher, "Mechanical and durability characteristics of sustainable coconut fibers reinforced concrete with incorporation of marble powder," *Mater. Res. Express*, vol. 8, no. 7, 2021, Art. no. 075505, doi: 10.1088/2053-1591/ac10d3.
- [13] S. Iffat, "Relation between density and compressive strength of hardened concrete," *Concrete Res. Lett.*, vol. 6, no. 4, pp. 182–189, Dec. 2015.
- [14] *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*, ASTM C109/C109M-20, Mar. 2020. [Online]. Available: https://www.astm.org/c0109_c0109m-20.html
- [15] *Thai Industrial Standard: Hydraulic Cement*, TIS 2594–2556, Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry, Bangkok, Thailand, 2013.
- [16] *Notification of Ministry of Industry: The Hydraulic Cement Industry Product is Specified as a Material for Making Industrial Products, Concrete and Cement Product Groups (no. 6819), B. E. 2565*, Thai Government Gazette 139(282D), Ministry of Industry, Bangkok, Thailand, Dec. 1, 2022.
- [17] *Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste*, ASTM C187-16, Jun. 2023. [Online]. Available: <https://www.astm.org/c0187-16.html>
- [18] *Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*, ASTM C191-21, Nov. 2021. [Online]. Available: <https://www.astm.org/standards/c191>
- [19] *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*, ASTM C1437-20, Oct. 2020. [Online]. Available: <https://www.astm.org/c1437-20.html>

- [20] Y.-C. Wei, D. Zhu, W.-Y. Xie, J.-H. Xia, M.-F. He, and S. Liao, "In-situ observation of spatial organization of natural rubber latex particles and exploring the relationship between particle size and mechanical properties of natural rubber," *Indus. Crops Prod.*, vol. 180, Jun. 2022, Art. no. 114737, doi: 10.1016/j.indcrop.2022.114737.
- [21] Y. Guo, K. Bao, X. Wu, D. Han, and J. Zhang, "Morphology and aggregation process of natural rubber particles," *Indus. Crops Prod.*, vol. 203, Nov. 2023, Art. no. 117153, doi: 10.1016/j.indcrop.2023.117153.
- [22] A. M. Neville and J. J. Brooks, *Concrete Technology*, 2nd ed. Harlow, England: Prentice Hall, 2010.
- [23] Y. Ohama, "Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified mortars and concretes adhesion; binders (materials); bond (paste to aggregate); carbonation; chlorides; curing; diffusion;," *Mater. J.*, vol. 84, no. 6, pp. 511–518, Nov. 1987.