



สมบัติเบื้องต้นและคาร์บอนเนชันของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา และผงหินปูน

บัญญัติ วารินทร์ไพล^{1*} อุมพร ปฏิพันธ์ภูมิสกุล¹ และ ปิติศานต์ กรำมาต²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

² ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: nowsurvey@hotmail.com

วันที่รับบทความ: 1 ธันวาคม 2564; วันที่ทบทวนบทความ: 4 มีนาคม 2565; วันที่ตอบรับบทความ: 29 มีนาคม 2565

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 2 สิงหาคม 2565

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติเบื้องต้น สมบัติทางกล และความคงทนของคอนกรีตที่ผสมน้ำยางพาราและผงหินปูนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) สมบัติเบื้องต้นที่ทำการศึกษาประกอบด้วยความชื้นเหลวปกติและระยะการก่อตัวของเพสต์ สมบัติทางกล ได้แก่ กำลังรับแรงอัด ค่าการยุบตัว และความพรุนของคอนกรีต และสมบัติด้านความคงทน ได้แก่ การเกิดคาร์บอนเนชันของคอนกรีต โดยทำการแทนที่น้ำยางพาราใน OPC ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และทำการแทนที่ผงหินปูนใน OPC ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.55 ผลการศึกษา พบว่า ความชื้นเหลวปกติของเพสต์ผสมน้ำยางพาราและผงหินปูนมีค่ามากกว่าของ OPC ล้วน ส่วนระยะการก่อตัวของเพสต์ผสมน้ำยางพารามีค่ามากกว่าของ OPC ล้วน ในขณะที่ของเพสต์ผสมผงหินปูนมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับของเพสต์ OPC ล้วน ค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราและผงหินปูนมีค่าน้อยกว่าของ OPC ล้วน นอกจากนี้พบว่า การแทนที่น้ำยางพาราและผงหินปูนในปริมาณที่เหมาะสม ทำให้สมบัติทางกล รวมถึงสมบัติด้านความคงทนดีขึ้น

คำสำคัญ: สมบัติเบื้องต้น; สมบัติทางกล; ความลึกคาร์บอนเนชัน; น้ำยางพารา; ผงหินปูน

Basic Properties and Carbonation of Concrete with Partial Replacement of Cement by Rubber Latex and Limestone Powder

Banyut Warinlai^{1*}, Umaporn Patipanpoomsakul¹ and Pitisan Krammart²

¹ Civil Engineering, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

² Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

* Corresponding author, E-mail: nowsurvey@hotmail.com

Received: 1 December 2021; Revised: 4 March 2021; Accepted: 29 March 2022

Online Published: 2 August 2022

Abstract: This research aims to study the basic properties, mechanical properties and durability of concrete with partial replacement of cement by rubber latex and limestone powder in ordinary Portland cement (OPC). The investigation included basic properties were normal consistency and setting time of paste. The mechanical properties studied were compressive strength, slump and porosity of concrete and the durability property tested was carbonation of concrete. Concrete with the replacements of rubber latex in OPC by weight was 0.5, 1 and 1.5%, and replacements of limestone powder in OPC by weight were 5, 10 and 15%. The water to binder ratio was 0.55. The results showed that the water requirement of paste with rubber latex and limestone powder was higher than that of OPC paste. Additionally, the setting time of paste with rubber latex was higher than that of OPC paste, while paste with limestone powder was lesser when compared to that of OPC paste. The slump of concrete with rubber latex and limestone powder was lesser than that of OPC concrete. Moreover, it was found that a partial replacement of cement with an optimum content of rubber latex and limestone powder makes mechanical properties including better durability properties.

Keywords: Basic properties; Mechanical properties; Carbonation depth; Rubber latex; limestone powder



1. บทนำ

ในปัจจุบันการก่อสร้างถือเป็นสิ่งสำคัญต่อการพัฒนาโครงสร้างทางด้านสังคมของประเทศ และเทคโนโลยีเริ่มเข้ามามีบทบาทในการพัฒนางานก่อสร้างมากยิ่งขึ้น จึงเกิดการคิดค้นนวัตกรรมใหม่ ๆ เพื่อตอบโจทย์และตรงตามความต้องการในการใช้งานของวัสดุก่อสร้างให้เกิดความแข็งแรง และทนทาน เพื่อรองรับการใช้งานโครงสร้างต่าง ๆ ในอนาคต โดยโครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยคอนกรีต การพัฒนาคุณภาพของคอนกรีตจึงเป็นสิ่งสำคัญหลักที่ทางผู้พัฒนาและผู้ใช้งานต่างให้ความสำคัญมากขึ้นในปัจจุบัน โครงสร้างคอนกรีตที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ เช่น อาคารบ้านเรือน อาคารสาธารณะ ถนน เป็นต้น สิ่งที่สำคัญคือ หลักการออกแบบให้โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักตามที่ออกแบบตลอดอายุการใช้งาน โดยปราศจากการซ่อมแซมในระดับที่เกินกว่าการคาดหมายเอาไว้ โดยปกติอายุการใช้งานที่ต้องการของโครงสร้างแต่ละชนิดไม่เท่ากันโดยขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้าง เช่น ขนาด สถานที่ที่โครงสร้างนั้นอยู่ และราคาของโครงสร้างนั้นๆ เป็นต้น โดยทั่วไปจะนิยมออกแบบโดยใช้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตและค่าการยุบตัวของคอนกรีต แต่ถ้านำคอนกรีตไปใช้ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันอายุของโครงสร้างจะไม่เท่ากัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง คอนกรีตจะมีคุณสมบัติทางกลโดยเฉพาะคุณสมบัติการรับแรงต่ำลงไปตามกาลเวลา เนื่องจากถูกกระทำจากปัจจัยหลายอย่างในสิ่งแวดล้อมทั้งทางกายภาพ และทางเคมี เช่น การเสื่อมสภาพของคอนกรีตจากคาร์บอนเนชัน การกัดกร่อนโดยกรด การกัดกร่อนโดยซัลเฟต และการเสื่อมสภาพจากคลอไรด์ เป็นต้น

โครงสร้างคอนกรีตที่เสื่อมสภาพเนื่องจากคาร์บอนเนชัน ส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในเขตที่มีการจราจรหนาแน่น เพราะสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่สูง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังกล่าวจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในซีเมนต์เพสต์ ทำให้เกิดแคลเซียมคาร์บอเนต ดังสมการที่ 1 ปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่าปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน ซึ่งทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตลดลงและส่งผลให้เหล็กเสริมเกิดสนิม [1]



ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการส่งออกผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งหนึ่งในนั้นคืออุตสาหกรรมส่งออกยางพารา โดยประเทศไทยในปี 2563 มีผลผลิตน้ำยางพาราส่งออกต่างประเทศประมาณ 4.24 ล้านตันต่อปี [2] ในอดีตผลผลิตน้ำยางพาราที่ส่งออกมีราคาค่อนข้างสูง แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมด้านยางพาราเกิดภาวะผันผวน มีผลกระทบต่อส่งออก รวมถึงยางพารามีราคาตกต่ำ เนื่องจากหลายประเทศมีการเพาะปลูก และแปรรูปน้ำยางพาราที่ใช้ในอุตสาหกรรมเอง จึงส่งผลกระทบต่อราคาน้ำยางพาราในประเทศในปัจจุบันเป็นอย่างมาก จากสถานการณ์ดังกล่าวเมื่อปี พ.ศ. 2563 ราคายางพาราดกต่ำ ทำให้เกษตรกรชาวสวนยางเดือดร้อนมีรายได้ไม่เพียงพอต่อการดำรงชีพ [3] รัฐบาลได้มีนโยบายเพื่อช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยางที่ประสบปัญหาราคายางตกต่ำ โดยได้กำหนดแนวทางช่วยเหลือเกษตรกรหลายประการ และหนึ่งแนวทางสำคัญในการช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยาง คือ โครงการใช้น้ำยางพาราในภาครัฐ เพื่อยกระดับราคายางพาราและ



เป็นแนวทางในการนำยางพาราเป็นส่วนผสมสำหรับการก่อสร้างถนน หรือใช้ในงานบูรณะก่อสร้างชั้นพื้นทางหรือผิวทางจราจร ปัจจุบันวงการวิศวกรรมโยธาพยายามที่จะพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างให้มีความสะดวกต่อการใช้งาน แข็งแรง เบา เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถรองรับต่อการเสื่อมสภาพได้เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ต่าง ๆ กัน โดยวัสดุต้านคอนกรีตถือว่าเป็นวัสดุหลักของการก่อสร้างและมีการใช้แพร่หลายในวงการวิศวกรรมโยธา มีการพัฒนาด้านส่วนผสมตลอดจนแนวคิดการออกแบบเพื่อให้คอนกรีตมีคุณภาพ มีคุณสมบัติการเทได้ มีกำลังตามที่ตั้งไว้ รวมถึงมีความทนทาน เป็นต้น แต่อย่างไรแล้ว ศาสตร์ทางด้านวัสดุทดแทนคอนกรีตยังมีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง รวมถึงมีการพัฒนาวัสดุทดแทนคอนกรีต โดยวัสดุบางชนิดมีจุดเด่นจุดด้อยต่างกัน จากผลการวิจัยที่ผ่านมา มีการพัฒนาสูตรมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองส่งน้ำชลประทาน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำยางพาราผสมคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้มีการป้องกันการรั่วซึมของน้ำใต้ดิน [4] หรือการนำวัสดุเหลือทิ้ง เช่น ผงหินปูน ซึ่งจัดเป็นวัสดุผสมเพิ่มในปูนซีเมนต์ที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลและความคงทนของวัสดุเชื่อมประสานในระยะยาวได้เช่นกัน [5]

จากทั้งหมดที่กล่าวมานี้ ทางผู้วิจัยได้สังเกตเห็นถึงการพัฒนามีวัสดุน้ำยางพารา ซึ่งเป็นวัสดุที่มีราคาตกต่ำให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น รวมถึงผงหินปูนซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์มากขึ้น โดยนำมาประยุกต์ผสมผสานกับวัสดุคอนกรีตและพัฒนาคอนกรีตที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อวงการ

วิศวกรรมโยธา เริ่มตั้งแต่สมบัติพื้นฐาน สมบัติทางกล รวมถึงป้องกันการเสื่อมสภาพ เนื่องจากการคาร์บอนเนชัน เพื่อให้ได้ผลที่อาจเป็นทางเลือกใหม่สำหรับวงการก่อสร้าง รวมถึงเป็นการเพิ่มมูลค่ายางพาราที่เกิดปัญหาวิกฤติขึ้นในปัจจุบัน

2. ระเบียบวิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุประสานที่ใช้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 น้ำยางพาราและผงหินปูน (ขนาดความละเอียดอนุภาคเฉลี่ย 2 ไมโครเมตร) เป็นวัสดุประสานใช้แทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมี ความถ่วงจำเพาะ ความละเอียดโดยวิธีเบลนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

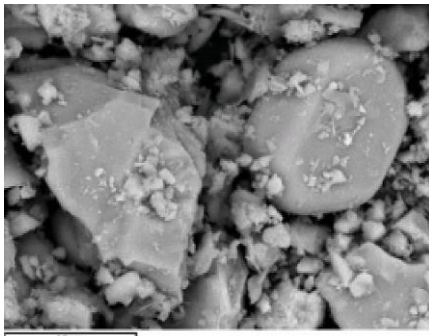
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมี ความละเอียดโดยวิธีเบลน และความถ่วงจำเพาะของวัสดุประสานที่ใช้

| Chemical | Cement | Limestone |
|--|--------------|--------------|
| Composition (%) | | Powder |
| SiO ₂ | 19.50 | 0.45 |
| Al ₂ O ₃ | 4.97 | 0.05 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.78 | 0.03 |
| CaO | 65.38 | 55.20 |
| MgO | 1.08 | 0.34 |
| SO ₃ | 2.16 | <0.01 |
| Na ₂ O | 0.22 | <0.01 |
| K ₂ O | 0.47 | 0.01 |
| LOI | 2.27 | 43.12 |
| Free lime | 1.00 | - |
| Blaine Air | 3,250 | 5,210 |
| Permeability (cm²/g) | | |
| Specific Gravity (unit) | 3.12 | 2.69 |

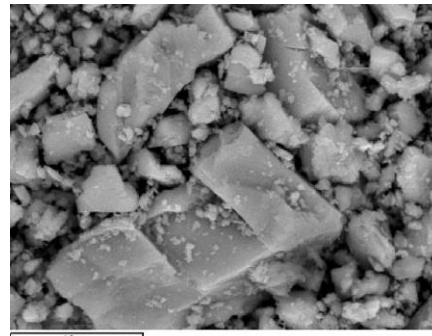


รูปที่ 1 แสดงภาพถ่ายขยายกำลังสูง (3,500 เท่า) ของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีลักษณะเป็นเหลี่ยม ผิวก่อนข้างขรุขระไม่เรียบ และมีอนุภาคหลายๆขนาดปนกันอยู่ในขณะที่ผงหินปูนมีลักษณะของอนุภาคเป็นเหลี่ยม ผิขรุขระไม่เรียบโดยมีลักษณะคล้ายกับกรณี

ของปูนซีเมนต์แต่มีขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่า ตารางที่ 2 สมบัติพื้นฐานของน้ำยางพาราชั้นธรรมชาติ 60% DRC มีปริมาณของแข็งในน้ำยางพาราร้อยละ 61 ความเข้มข้นหรือปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 60 และความถ่วงจำเพาะ 0.94 เป็นต้น



(a)



(b)

รูปที่ 1 ภาพถ่ายกำลังขยายสูง (3,500 เท่า) ของอนุภาค (a) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ (b) ผงหินปูน

ตารางที่ 2 ข้อมูลจำเพาะของน้ำยางพาราชั้นธรรมชาติ 60% DRC

| Parameters | Unit | Specifications | Testing Results | Method |
|---|-----------|----------------|-----------------|---------------------------------------|
| Total Solids Content (TSC) | % by Mass | 61 (min) | 61.58 | ISO 124:2014 |
| Dry Rubber Content (DRC) | % by Mass | 60 (min) | 60.06 | W-CBI-QCU-04 Based on ISO 126:2005 |
| pH Value at 26.6 °C | - | 11 (max) | 10.49 | ISO 976:2013 |
| KOH No. | % by Mass | 0.7 (max) | 0.65 | ISO 127:2012 |
| Alkalinity (as ammonia on total weight) | % by Mass | 0.65 - 0.75 | 0.7 | ISO 125:2011 |
| *Non Rubber Content (NRC) | % by Mass | 1.7 (max) | 1.53 | W-CBI-QCU-20 |
| *Alkalinity (as ammonia on water phase) | % by Mass | - | 1.81 | W-CBI-QCU-07 |
| *Volatile Fatty Acid Number (VFA No.) | - | 0.05 | 0.0257 | W-CBI-QCU-06 Based on ISO 506:1992 |
| *Mechanical Stability Time (MST) at 55% TSC | sec. | 650 (min) | 920 | ISO 35:2004 |
| *Specific Gravity at 25 °C (SG) | - | 0.94 (min) | 0.9448 | W-CBI-QCU-48 Based on ISO 705:1994 |
| *Magnesium Content (Mg) | ppm | 40 (max) | 30.25 | W-CBI-QCU-46 Based on ISO 11852:2011 |



2.2 สมบัติด้านซีเมนต์ของวัสดุประสาน

สำหรับสมบัติด้านซีเมนต์ของวัสดุประสาน ประกอบด้วยความชื้นเหลวปกติและระยะเวลาก่อตัวของเพสต์ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 187 [6] และ ASTM C 191 [7] ตามลำดับ การทดสอบหาค่าความพรุน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 642 [8] และค่าการยุบตัวและกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 143 [9] และ BS 1881-116 [10] ตามลำดับ ในส่วนกำลังอัดประลัยของคอนกรีตใช้ตัวอย่างขนาด 100 x 100 x 100 มม. จำนวน 3 ตัวอย่างต่อหนึ่งสัดส่วนผสม หลังจากถอดแบบ 1 วัน ทำการบ่มน้ำจนถึงเวลาทำการทดสอบที่อายุ 28 วัน

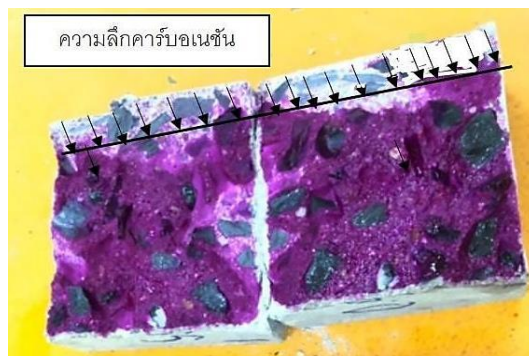
2.3 การเกิดคาร์บอนเนชันของคอนกรีต

การศึกษาการเกิดคาร์บอนเนชันได้หล่อคอนกรีตตัวอย่างขนาด 100 x 100 x 100 มม. ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 856 [11] ตัวอย่างคอนกรีตหลังจากหล่อลงแบบตัวอย่าง ทำการบ่มตัวอย่างคอนกรีตในแบบ โดยถอดแบบที่อายุ 1 วัน แล้วนำตัวอย่างไปบ่มน้ำเป็นเวลา 28 วัน หลังจากบ่มครบระยะเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างดังกล่าวไปอบในตู้อบเร่งการเกิดคาร์บอนเนชัน ซึ่งมีอุณหภูมิ 30 ± 5 °C โดยควบคุม

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ถูกปล่อยออกมาในปริมาณ 40,000 ppm และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 50 ถึง 55 โดยระยะเวลาที่ตัวอย่างเผชิญกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 28 และ 56 วัน เมื่อครบอายุที่กำหนด นำไปทดสอบหาความลึกการเกิดคาร์บอนเนชัน มีขั้นตอนการทดสอบ โดยผ่าตัวอย่างออกเป็น 2 ซีก โดยใช้เครื่องทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต จากนั้นฉีดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) ที่ตัวอย่าง ซึ่งจะปรากฏเป็นสีม่วงในกรณีที่ไม่เกิดคาร์บอนเนชัน แต่ในส่วนที่เกิดคาร์บอนเนชันตัวอย่างจะไม่มีสี ใช้เวอร์เนียร์วัดค่าความลึกบริเวณที่ไม่เกิดสีม่วง (บริเวณที่เกิดคาร์บอนเนชัน) ของคอนกรีตแต่ละซีกดังแสดงในรูปที่ 2 และนำมาหาค่าเฉลี่ยความลึกคาร์บอนเนชัน

2.4 สัดส่วนผสมของเพสต์และคอนกรีตที่ใช้

ปริมาณของวัสดุประสาน ที่ใช้ในการหาความต้องการน้ำและระยะเวลาก่อตัวของเพสต์ แสดงดังตารางที่ 3 ส่วนตารางที่ 4 แสดงสัดส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการหาค่าการยุบตัว กำลังอัดประลัย และความลึกคาร์บอนเนชัน โดยคอนกรีตใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.55 โดยน้ำหนักตลอดการศึกษา



รูปที่ 2 การวัดความลึกคาร์บอนเนชันของตัวอย่างคอนกรีต



ตารางที่ 3 สัดส่วนผสม.(โดยน้ำหนัก:กรัม).ของเพสต์ผสมยางพาราและผงหินปูนที่ใช้ในการศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสม.และการก่อตัว

| ส่วนผสม | ปริมาณของวัสดุประสาน (กรัม) | | |
|---------------|---------------------------------|----------|------------|
| | ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 | ผงหินปูน | น้ำยางพารา |
| PC | 100 | - | - |
| PC-0.5LT | 99.5 | - | 0.5 |
| PC-1LT | 99 | - | 1 |
| PC-1.5LT | 98.5 | - | 1.5 |
| PC-5LP | 95 | 5 | - |
| PC-10LP | 90 | 10 | - |
| PC-15LP | 85 | 15 | - |
| PC-5LP-0.5LT | 94.5 | 5 | 0.5 |
| PC-5LP-1LT | 94 | 5 | 1 |
| PC-5LP-1.5LT | 93.5 | 5 | 1.5 |
| PC-10LP-0.5LT | 98.5 | 10 | 0.5 |
| PC-10LP-1LT | 89 | 10 | 1 |
| PC-10LP-1.5LT | 88.5 | 10 | 1.5 |
| PC-15LP-0.5LT | 84.5 | 15 | 0.5 |
| PC-15LP-1LT | 84 | 15 | 1 |
| PC-15LP-1.5LT | 83.5 | 15 | 1.5 |

หมายเหตุ: PC หมายถึง เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน, PC-0.5LT หมายถึง เพสต์ผสมน้ำยางพาราร้อยละ 0.5 และ PC-5LP-0.5LT หมายถึง เพสต์ผสมผงหินปูนร้อยละ 5 ร่วมกับน้ำยางพารา ร้อยละ 0.5

ตารางที่ 4 ส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการหาค่าการยุบตัว กำลังอัดประลัย และความลึกคาร์บอนเนชัน

| ที่ | สัดส่วนผสม | ส่วนผสมของคอนกรีต (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | | | | | | | |
|-----|------------|---|----------|------------------------|--------------|------------|-----------|-----|-------------------|
| | | ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 | ผงหินปูน | น้ำยางพารา (น้ำ+เนื้อ) | เนื้อยางพารา | ทราย (SSD) | หิน (SSD) | น้ำ | น้ำ+น้ำจากยางพารา |
| 1 | C | 435.00 | - | - | - | 845 | 1230 | 235 | 235.00 |
| 2 | C-0.5LT | 432.83 | - | 2.17 | 1.30 | 845 | 1230 | 235 | 235.87 |
| 3 | C-1LT | 430.65 | - | 4.35 | 2.61 | 845 | 1230 | 235 | 236.74 |
| 4 | C-1.5LT | 428.48 | - | 6.52 | 3.91 | 845 | 1230 | 235 | 237.61 |
| 5 | C-5LP | 413.25 | 21.75 | - | - | 845 | 1230 | 235 | 235.00 |

หมายเหตุ: C หมายถึง คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และ C-0.5LT หมายถึง คอนกรีตผสมน้ำยางพาราร้อยละ 0.5



ตารางที่ 4 ต่อ

| ที่ | สัดส่วนผสม | ส่วนผสมของคอนกรีต (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | | | | | | | |
|-----|--------------|---|----------|-------------------------------|------------------|---------------|--------------|-----|---------------------------|
| | | ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1 | ผงหินปูน | น้ำ ยางพารา (น้ำ+เนื้อ) | เนื้อ ยางพารา | ทราย (SSD) | หิน (SSD) | น้ำ | น้ำ+น้ำ จาก ยางพารา |
| 6 | C-10LP | 391.50 | 43.50 | - | - | 845 | 1230 | 235 | 235.00 |
| 7 | C-15LP | 369.75 | 65.25 | - | - | 845 | 1230 | 235 | 235.00 |
| 8 | C-5LP-0.5LT | 411.08 | 21.75 | 2.17 | 1.30 | 845 | 1230 | 235 | 235.87 |
| 9 | C-5LP-1LT | 408.90 | 21.75 | 4.35 | 2.61 | 845 | 1230 | 235 | 236.74 |
| 10 | C-5LP-1.5LT | 406.73 | 21.75 | 6.52 | 3.91 | 845 | 1230 | 235 | 237.61 |
| 11 | C-10LP-0.5LT | 389.33 | 43.50 | 2.17 | 1.30 | 845 | 1230 | 235 | 235.87 |
| 12 | C-10LP-1LT | 387.15 | 43.50 | 4.35 | 2.61 | 845 | 1230 | 235 | 236.74 |
| 13 | C-10LP-1.5LT | 384.98 | 43.50 | 6.52 | 3.91 | 845 | 1230 | 235 | 237.61 |
| 14 | C-15LP-0.5LT | 367.58 | 65.25 | 2.17 | 1.30 | 845 | 1230 | 235 | 235.87 |
| 15 | C-15LP-1LT | 365.40 | 65.25 | 4.35 | 2.61 | 845 | 1230 | 235 | 236.74 |
| 16 | C-15LP-1.5LT | 363.23 | 65.25 | 6.52 | 3.91 | 845 | 1230 | 235 | 237.61 |

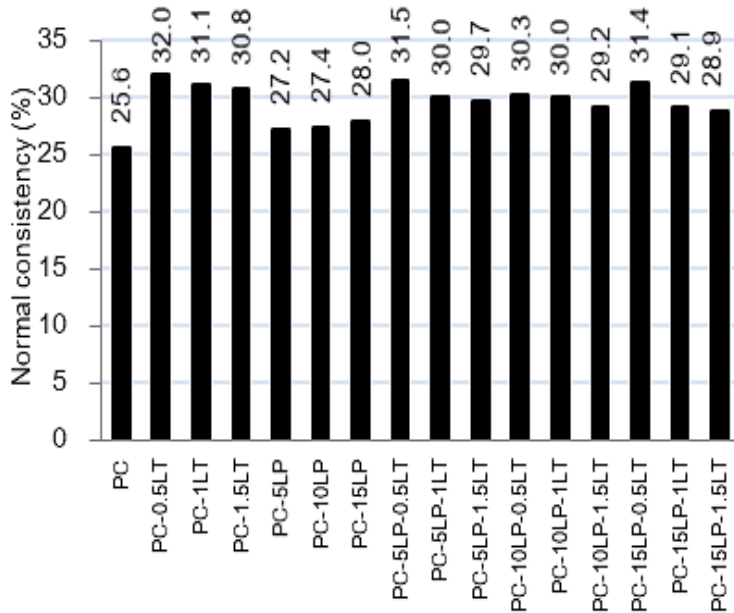
หมายเหตุ: C หมายถึง คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และ C-0.5LT หมายถึง คอนกรีตผสมน้ำยางพาราร้อยละ 0.5

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์

3.1 ความต้องการน้ำของเพสต์

ผลการศึกษาค้นคว้าความต้องการน้ำที่ความชื้นเหลือปกติของเพสต์ แสดงดังรูปที่ 3 พบว่า ความต้องการน้ำของเพสต์ผสมน้ำยางพารา (ทั้งร้อยละ 0.5, 1 และ 1.5) มีค่ามากกว่าค่าของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำยางพารามีลักษณะข้น อยู่ในรูปของสารแขวนลอย ทำให้เนื้อยางมีการดูดซึมน้ำในการทำปฏิกิริยา โดยอนุภาคของโพลีเมอร์จะแขวนลอยอยู่ในน้ำยางเหลว จากนั้นจะก่อตัวเป็นฟิล์มที่เกิดจากอนุภาคของโพลีเมอร์มารวมตัวกัน ปฏิกิริยาของส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จึงทำให้ซีเมนต์เพสต์ต้องการน้ำเพิ่ม เพื่อที่จะรักษาความชื้นเหลือปกติให้คงที่และสามารถทำงานได้ สอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Y.Ohama และ P. Plangoen [12,13] ส่วนความต้องการน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ผสมผงหินปูน (ทั้งร้อยละ 5, 10 และ 15) มีค่ามากกว่าของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วนเช่นกัน [14] ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงหินปูน มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดกว่ารวมทั้งวัสดุตั้งก่อก็มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งแทนที่โดยน้ำหนัก ทำให้มีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้น สำหรับน้ำยางพารานั้นมีลักษณะข้น อนุภาคเป็นโพลีเมอร์ อาจมีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในขณะที่การผสมด้วยน้ำยางพาราร่วมกับผงหินปูน มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับการผสมด้วยน้ำยางพาราหรือผงหินปูนเพียงชนิดเดียว เหตุผลดังที่กล่าวแล้ว



รูปที่ 3 ความต้องการน้ำของเพสต์

3.2 ระยะการก่อตัวของเพสต์

ผลการศึกษาระยะการก่อตัวของเพสต์ แสดงดังรูปที่ 4 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ระยะการก่อตัวของเพสต์ผสมน้ำยางพาราจะช้ากว่า โดยอ้างอิงกับเส้นประสีแดงในรูปที่ 5 เปรียบเทียบกับของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้ เนื่องจากการผสมด้วยน้ำยางพารา ทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง อีกทั้งน้ำยางพาราที่ใช้ผสมอยู่ในรูปของสารแขวนลอย โดยอนุภาคของโพลีเมอร์จะแขวนลอยอยู่ในน้ำยางเหลว ซึ่งการทำปฏิกิริยาเกิดช้า ส่วนระยะการก่อตัวของเพสต์ผสมผงหินปูน กลับพบว่าเร็วกว่าของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน [14] ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอนุภาคของผงหินปูนที่ค่อนข้างละเอียด สามารถเข้าไปแทรกกระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ ทำให้อนุภาคปูนซีเมนต์สัมผัสกับน้ำได้มาก

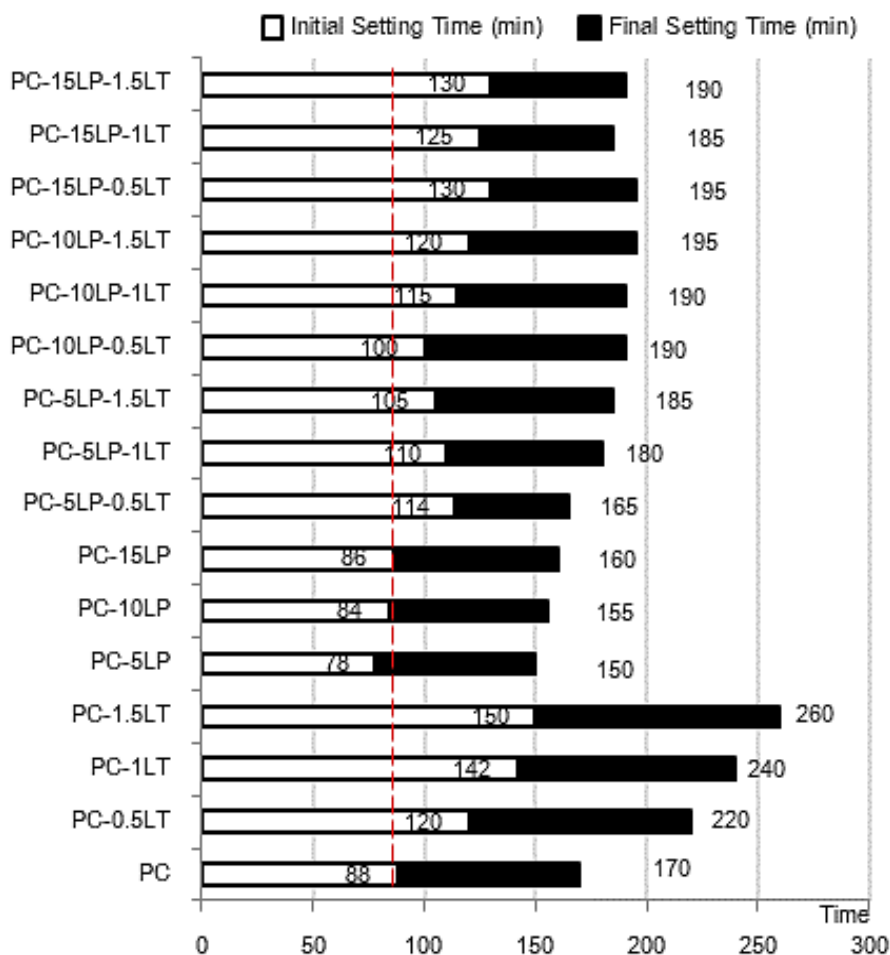
ขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดมากขึ้น ส่วนเพสต์ผสมน้ำยางพาราร่วมกับผงหินปูนมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับการผสมด้วยน้ำยางพาราและผงหินปูนเพียงอย่างเดียว เหตุผลดังที่กล่าวแล้ว

3.3 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต

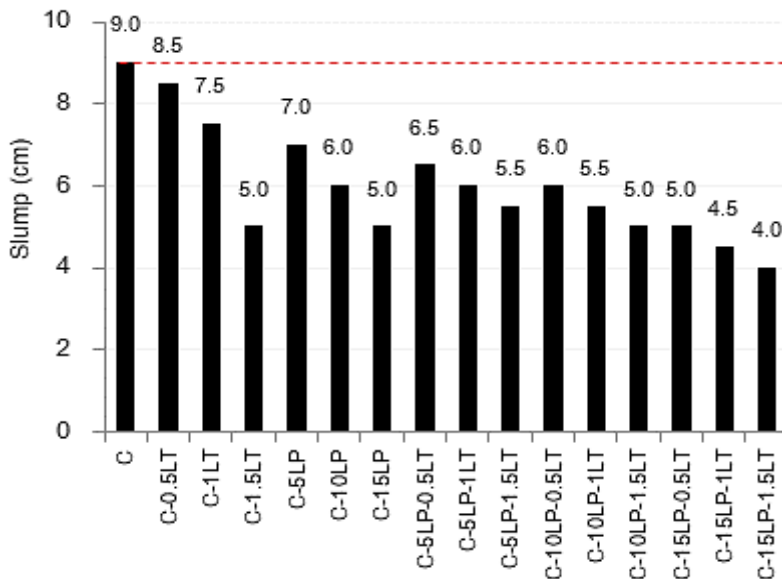
ผลการศึกษาค่าการยุบตัวของคอนกรีต แสดงดังรูปที่ 5 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมน้ำยางพารามีค่าน้อยกว่า โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ในปริมาณที่มาก ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับเส้นประสีแดงในรูปที่อ้างอิงกับของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำยางพาราในปริมาณมากเข้าจับตัวกับปูนซีเมนต์และทำปฏิกิริยากับน้ำจนเกิดเป็นก้อนในลักษณะคอนกรีตที่แห้ง ส่งผลให้มีค่าการยุบตัวน้อยลง ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปในทิศทาง

เดียวกันกับผลงานวิจัยในอดีตของ J. Wongpa และคณะ [15] ส่วนค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมผงหินปูนมีค่าน้อยกว่าของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วนเช่นกัน โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ในปริมาณที่มาก ทั้งนี้เพราะผงหินปูนต่างก็มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ประเภทที่ 1 รวมทั้งความถ่วงจำเพาะที่น้อยกว่า ซึ่งเป็นการแทนที่โดยน้ำหนัก ส่วนค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา ร่วมกับผงหินปูน ให้ค่ามีแนวโน้มที่สอดคล้องกับการผสมด้วยน้ำยางพาราหรือผงหินปูนเพียงอย่างเดียว เหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4 ระยะการก่อตัวของเพสต์

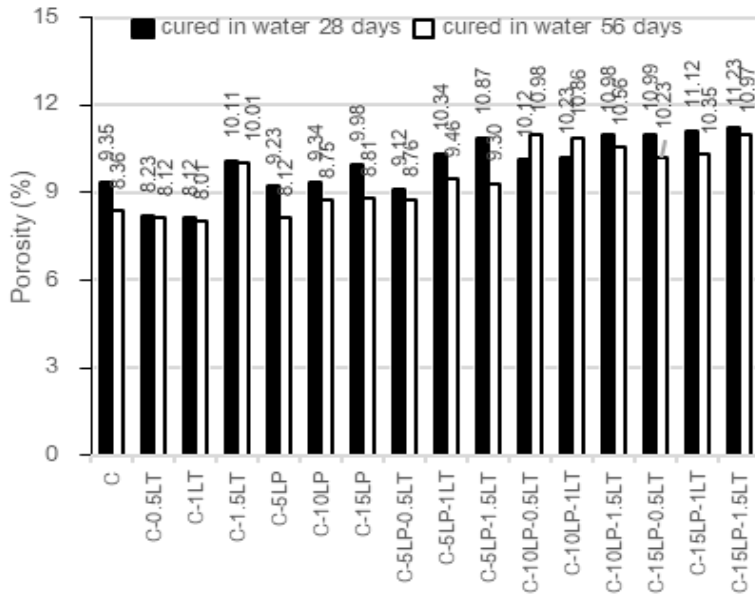


รูปที่ 5 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต

3.4 ความพรุนของคอนกรีต

รูปที่ 6 แสดงค่าร้อยละความพรุนของคอนกรีต ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน คอนกรีตที่ผสมผงหินปูน และคอนกรีตที่ผสมน้ำยางพารา โดยตัวอย่างคอนกรีตบ่มน้ำที่อายุ 28 และ 56 วัน พบว่า ค่าความพรุนของคอนกรีตที่ผสมน้ำยางพาราร้อยละ 0.5 และ 1 มีค่าความพรุนน้อยกว่าของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ น้ำยางพาราเกิดปฏิกิริยาก่อตัวเป็นฟิล์มที่เกิดจากอนุภาคของโพลีเมอร์มารวมตัวกัน เสมือนรวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวกับคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีรูพรุนน้อยลง ในขณะที่มีคอนกรีตที่ผสมน้ำยางพาราร้อยละ 1.5 ค่าความพรุนมากกว่าของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณน้ำยางพาราในปริมาณค่อนข้างมากเข้าแทนที่ปูนซีเมนต์ ทำให้

ปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมลดลง ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันไม่เต็มที่ จึงทำให้คอนกรีตเกิดช่องว่างเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อความพรุนของเนื้อคอนกรีตให้มากขึ้นเช่นกัน สำหรับความพรุนของคอนกรีตที่ผสมผงหินปูนมีค่าความพรุนใกล้เคียงหรือมากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน [16] ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคที่ละเอียดรวมถึงปริมาณผงหินปูนที่ไม่มาก เข้าไปเติมเต็มช่องว่างตลอดจนทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน จึงทำให้คอนกรีตเกิดช่องว่างไม่มากนัก นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาการบ่มของคอนกรีตที่มากขึ้นจะทำให้ความพรุนของคอนกรีตลดน้อยลง เพราะระยะเวลาการบ่มคอนกรีตทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สมบูรณ์มากขึ้นเป็นผลทำให้คอนกรีตมีความทึบแน่นมากขึ้น ช่องว่างและความพรุนลดลงตามลำดับ

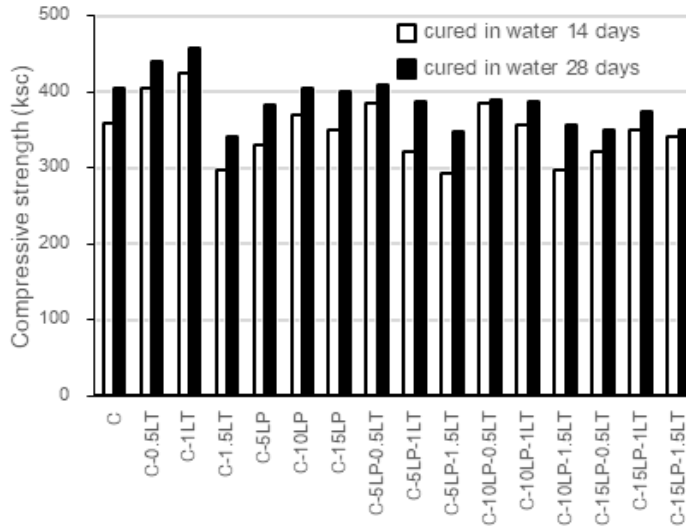


รูปที่ 6 ความพรุนของคอนกรีตที่อายุบ่มน้ำ 28 และ 56 วัน

3.5 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

รูปที่ 7 แสดงค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 โดยตัวอย่างคอนกรีตมีอายุ 14 และ 28 วัน พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน กับคอนกรีตผสมน้ำยาฟาราร้อยละ 0.5 และ 1 โดยคอนกรีตที่ผสมน้ำยาฟาราร้อยละ 0.5 และ 1 จะมามีค่ามากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการผสมด้วยน้ำยาฟาราในปริมาณร้อยละ 0.5 และ 1 น้ำยาฟาราเกิดปฏิกิริยาก่อตัวเป็นฟิล์มที่เกิดจากอนุภาคของโพลีเมอร์มารวมตัวกันเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวกับคอนกรีต เสมือนเป็นวัสดุประสาน มวลรวมกับคอนกรีตเข้าด้วยกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ J. Wongpa และ P. Shaji [13,15] แต่ในทางกลับกัน เมื่อคอนกรีตใส่น้ำยาฟาราในปริมาณเพิ่มขึ้น คือ ร้อยละ 1.5 พบว่า มีกำลังอัดประลัย

น้อยกว่าของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะคอนกรีตมีปริมาณน้ำยาฟาราในปริมาณที่ค่อนข้างมาก ส่งผลให้น้ำยาฟาราและวัสดุผสมคอนกรีตรวมตัวกันได้ไม่ดี มีรูโพรงช่องว่าง มีความไม่สม่ำเสมอของเนื้อคอนกรีต จึงส่งผลต่อกระทบต่อความพรุนของคอนกรีต ทำให้กำลังอัดลดน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ J. Wongpa และ P. Shaji [13,15] สำหรับคอนกรีตผสมผงหินปูน พบว่ากำลังอัดมีค่าใกล้เคียงและมีแนวโน้มมากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน อาจเป็นเพราะ ผงหินปูนมีอนุภาคที่ค่อนข้างละเอียด จึงเป็นการช่วยในการเติมเต็มในช่องว่างของเพสต์ ส่งผลให้กำลังใกล้เคียงหรือต่ำลงไม่มากนัก ส่วนการผสมกรณี 3 วัสดุประสาน ก็ให้ผลในแนวโน้มที่สอดคล้องกับการผสมด้วย 2 วัสดุประสาน เหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 7 กำลังอัดของคอนกรีตบ่มน้ำที่อายุ 14 และ 28 วัน

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ จะใช้มาตรฐานการควบคุมของกรมทางหลวงชนบท ซึ่งเป็นหน่วยงานที่จะนำผลการทดลองไปใช้ในการพัฒนางานด้านการทางต่อไป โดยกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน มีการพัฒนา กำลังอัดสูงกว่า 14 วัน และมีค่ากำลังอัดไม่น้อยกว่า 325 กก./ตร.ซม. ซึ่งค่ามาตรฐานกำลังอัดของคอนกรีตดังกล่าวเป็นค่ามาตรฐานงานผิวจราจรคอนกรีตที่กรมทางหลวงชนบทที่ใช้ในการออกแบบ [18] ซึ่งคอนกรีตที่ผสมน้ำยางพาราร้อยละ 1 มีค่ากำลังอัดสูงสุดอยู่ที่ 458 กก./ตร.ซม.

3.6 ความลึกคาร์บอนเนชันของคอนกรีต

รูปที่ 8 แสดงความลึกคาร์บอนเนชันของคอนกรีตที่ระยะเวลาเผชิญก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 28 วัน และ 56 วัน โดยตัวอย่างคอนกรีตบ่มน้ำ 28 วัน ก่อนเผชิญก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า ความลึกคาร์บอนเนชันของคอนกรีตที่ผสมด้วยน้ำยางพาราร้อยละ 0.5 และ 1 (ทั้งระยะเวลาเผชิญก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 28 วัน

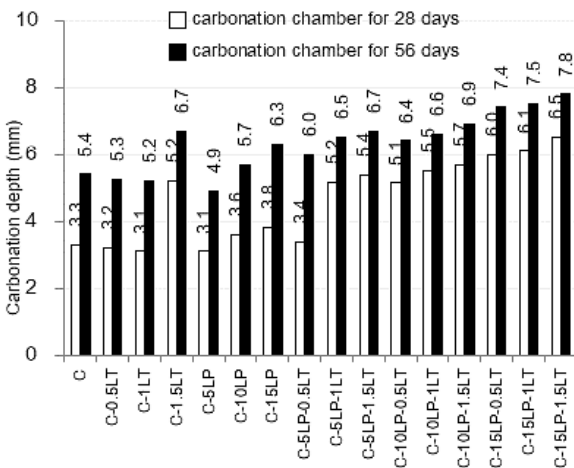
และ 56 วัน) มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการผสมด้วยน้ำยางพาราในปริมาณร้อยละ 0.5 และ 1 น้ำยางพาราเกิดปฏิกิริยาก่อตัวเป็นฟิล์มที่เกิดจากอนุภาคของโพลีเมอร์มารวมตัวกัน เกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวกับคอนกรีต เสมือนเป็นวัสดุประสานมวลรวมกับคอนกรีตเข้าด้วยกันลักษณะเป็นเนื้อเดียวกับ คอนกรีต ทำให้ คอนกรีต ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปได้ยากขึ้น แต่ในทางกลับกันคอนกรีตที่ผสมน้ำยางพาราร้อยละ 1.5 มีความลึกคาร์บอนเนชันมากกว่าของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะคอนกรีตมีปริมาณน้ำยางพาราในปริมาณที่ค่อนข้างมาก เป็นการลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงมาก ทำให้ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ลดลง จึงทำให้ความลึกคาร์บอนเนชันมากขึ้น ส่วนคอนกรีตที่ผสมผงหินปูนความลึกคาร์บอนเนชันไม่แตกต่างกันมากหรือ



สูงกว่าไม่มากเมื่อเทียบกับของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอนุภาคของผงหินปูนที่เล็กเข้าไปอุดโพรงช่องว่างในเพสต์ทำให้คอนกรีตแน่นขึ้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปได้ยากขึ้น จึงทำให้ความลึกคาร์บอนเนชันน้อยลงสำหรับกรณีของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาพาราร่วมกับผงหินปูน การเกิดคาร์บอนเนชันมีทิศทางเดียวกันกับการผสมด้วยน้ำยาพาราและ/หรือผสมผงหินปูนเพียงอย่างเดียว ด้วยเหตุผลและสมบัติของวัสดุที่กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามจากอายุของและระยะเวลาการเกิดคาร์บอนเนชันตัวอย่างคอนกรีต สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชันได้จากสมการที่ (2) [19, 20]

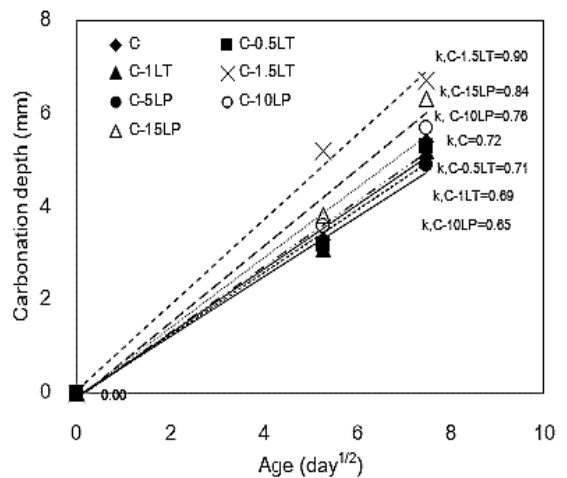
$$d = k\sqrt{t} \tag{2}$$

โดยที่ d คือ ค่าความลึกการเกิดคาร์บอนเนชัน (มม.) t คือ เวลาอายุของคอนกรีต (วัน) และ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชัน (มม./วัน^{1/2})



รูปที่ 8 ความลึกคาร์บอนเนชันของคอนกรีตที่เผชิญก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 28 และ 56 วัน

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกคาร์บอนเนชันและอายุ (วัน^{1/2}) ของคอนกรีต เมื่อเผชิญก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 28 และ 56 วัน และสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชัน (k) แสดงดังตารางที่ 5 โดยการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปเปรียบเทียบผลการศึกษาสมบัติพื้นฐานและการเกิดคาร์บอนเนชันระหว่างของเพสต์/คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยวัสดุประสานต่างชนิดกัน (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 น้ำยาพาราและผงหินปูน) กับของเพสต์/คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ดังตารางที่ 6



รูปที่.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกคาร์บอนเนชันและอายุ (วัน^{1/2}) ของคอนกรีต



ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชัน (k) ของคอนกรีต (คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และ คอนกรีตกรณีวัสดุประสาน 2 ชนิด)

| สัดส่วนผสม | ค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชัน, k (มม./วัน ^{1/2}) |
|------------|--|
| C | 0.72 |
| C-0.5LT | 0.71 |
| C-1LT | 0.69 |
| C-1.5LT | 0.90 |
| C-5LP | 0.65 |
| C-10LP | 0.76 |
| C-15LP | 0.84 |

ตารางที่ 6 สรุปเปรียบเทียบสมบัติพื้นฐานและความลึกคาร์บอนเนชันระหว่างของเพสต์/คอนกรีตผสมน้ำยาราด และผงหินปูน กับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

| รายการ | กรณีใช้ 2 วัสดุประสาน | | กรณีใช้ 3 วัสดุประสาน |
|-----------------------------------|--|--------------------------|-----------------------|
| | LT | LP | LT+LP |
| ความต้องการน้ำของเพสต์ | มากกว่า | มากกว่า | มากกว่า |
| ระยะเวลาก่อตัวของเพสต์ | ช้ากว่า | เร็วกว่า | ช้ากว่า |
| ค่าการยุบตัวของคอนกรีต | น้อยกว่า | น้อยกว่า | น้อยกว่า |
| ค่าความพรุนของคอนกรีต | น้อยกว่า (ยกเว้นแทนที่ร้อยละ 1.5) | แนวโน้มไม่ แตกต่างกัน | มากกว่า |
| กำลังอัดประลัยของคอนกรีต | มากกว่า (ยกเว้นแทนที่ร้อยละ 1.5) | แนวโน้มไม่ แตกต่างกัน | น้อยกว่า |
| ความลึกคาร์บอนเนชันของ คอนกรีต | แนวโน้มไม่แตกต่างกัน (ยกเว้นแทนที่ร้อยละ 1.5) | แนวโน้มไม่ แตกต่างกัน | มากกว่า |



4. บทสรุป

จากผลการศึกษานี้ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ความต้องการน้ำของเพสต์ผสมน้ำยางพารามีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ในขณะที่ของเพสต์ผงหินปูนมีค่ามากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

2. ระยะการก่อตัวของเพสต์ผสมน้ำยางพารา มีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ในขณะที่ของเพสต์ผสมผงหินปูนมีค่าน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

3. ค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราและผงหินปูนมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

4. ค่าความพรุนของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราร้อยละ 0.5 และ 1 มีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ยกเว้นคอนกรีตผสมน้ำยางพาราร้อยละ 1.5 ค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ส่วนความพรุนของคอนกรีตผสมผงหินปูน มีค่าใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

5. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราร้อยละ 0.5 และ 1 มีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ยกเว้นคอนกรีตผสมน้ำยางพาราร้อยละ 1.5 ค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ส่วนกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมผงหินปูน มีค่าใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

6. ความลึกคาร์บอนเนชันของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราร้อยละ 0.5 และ 1 มีค่าใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ยกเว้นคอนกรีตผสมน้ำยางพาราร้อยละ 1.5 ค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ในขณะที่ความลึกคาร์บอนเนชันของคอนกรีตผสมผงหินปูนมีค่าใกล้เคียงหรือสูงกว่าไม่มากเมื่อเทียบกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และภาควิชา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Warinlai and P. Krammart, Accelerated and real carbonation situations of concrete, The Journal of Industrial Technology, 2018, 14(1), 50-62. (in Thai)
- [2] www.ditp.go.th/contents_attach/730300/730300.pdf. (Accessed on 14 June 2021)
- [3] www.thaigov.go.th/news/contents/details/36883. (Accessed on 14 June 2021)
- [4] P. Plangoen and C. Chuntavan, Research and development of concrete ditch mixed with rubber latex for farm Irrigation system, CRMA Journal, 2019, 17, 100-116. (in Thai)



- [5] P. Krammart and S. Tangtermsirikul, Sulfate resistance of mortars with limestone powder, The 3rd Annual Concrete Conference, Thailand Concrete Association, Proceeding, 2010, 89-96.
- [6] ASTM C 187-11, Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste, 2011.
- [7] ASTM C 191-13, Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, 2013.
- [8] ASTM C 642-13, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, 2013.
- [9] ASTM C 143/C 143M-98, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, 1998.
- [10] BS 1881 Part 108, Method of Making Test Cube from Fresh Concrete, 1983.
- [11] ASTM C 856-04, Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete, 2004.
- [12] Y. Ohama, Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified mortars and concretes, ACI Materials Journal, 1987, 84(6), 511-518.
- [13] P. Plangoen and C. Chuntavan, Physical and mechanical properties of cement mortar modified with rubber, The 23rd Annual Concrete Conference, Thailand Concrete Association, Proceeding, 2018, 1-10.
- [14] K. Kaewmanee and S. Tangtermsirikul, Basic properties and durability of concrete with fly ash and CaCO₃ powder, Journal of Thailand Concrete Association, 2015, 3(2), 8-16. (in Thai)
- [15] J. Wongpa, S. Koslanant, W. Chalee and P. Thongsanitgarn, Effects of para rubber latex on workability, compressive strength and water permeability of normal strength concrete, Mahasarakham International Journal of Engineering Technology, 2021, 7(1), 61-66.
- [16] A. Jumnongrat, Basic properties of concrete with fly ash and limestone, Thesis, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand, 2017. (in Thai)
- [17] P. Shaji, K.P. Aswathi, P. Hanna, J.K. George and K. Shameer, Effect of natural rubber latex as admixtures in concrete, International Research Journal of Engineering and Technology, 2017, 4(4), 2031-2034.



- [18] https://research.drr.go.th/wp-content/uploads/2020/02/drr-2020-02-04_08-30-21_317322.pdf.
(Accessed on 14 June 2021)
- [19] S.K. Roy, D.O. Northwood and K.B. Poh, Effect of plastering on the carbonation of a 19-year-old reinforced concrete building, *Construction and Building Materials*, 1996, 10(4), 267-272.
- [20] L.J. Parrott, A review of carbonation in reinforced concrete, *Cement and Concrete Association*, Buckinghamshire, England, 1987.