



## ผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อกำลั้งอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา

พัฒนไชย นิโรจน์ พอพันธ์ สุทธิวิธนะ และ จักรพันธ์ วงษ์พา\*

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 7127 8885 อีเมล: Jakrapan.w@rbru.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.09.002

รับเมื่อ 25 มกราคม 2564 แก้ไขเมื่อ 5 พฤษภาคม 2564 ตอรับเมื่อ 25 พฤษภาคม 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 1 กันยายน 2565

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อกำลั้งอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา โดยเลือกออกแบบส่วนผสมคอนกรีตควบคุมกำลั้งอัด 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าการยุบตัวระหว่าง 7.5–12.5 เซนติเมตร ตัวอย่างทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ชุด โดยชุดแรก น้ำในส่วนผสมคอนกรีตควบคุมบางส่วนถูกแทนที่ด้วยน้ำยางพาราในอัตราส่วนร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักของน้ำ ส่วนชุดที่สอง นำส่วนผสมของชุดแรกมาแทนที่น้ำยางพาราบางส่วนด้วยสารลดแรงตึงผิวอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของน้ำยางพารา หาค่าการยุบตัวขณะสดของคอนกรีตทุกส่วนผสม และทดสอบกำลั้งอัดที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ ความหนาแน่นของคอนกรีตแต่ละตัวอย่างคำนวณจากน้ำหนักและปริมาตรรายก้อน จากการทดสอบพบว่า การเติมสารลดแรงตึงผิวช่วยให้คอนกรีตสดมีค่ายุบตัวสูงขึ้น และพบว่า การเติมสารลดแรงตึงผิวส่งผลให้คอนกรีตผสมน้ำยางพารามีกำลั้งอัดลดลงอย่างมากโดยเฉพาะในส่วนผสมที่มีน้ำยางชั้นร้อยละ 1.5 และ 2.0 ซึ่งมีกำลั้งอัดลดลงสูงถึงร้อยละ 32 และ 57 ตามลำดับ เทียบกับคอนกรีตปกติ และพบว่าความหนาแน่นของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราทั้งที่มีและไม่มีสารลดแรงตึงผิวแปรผันโดยตรงกับกำลั้งอัดอย่างมีนัยสำคัญ

**คำสำคัญ:** คอนกรีต กำลั้งอัด ความหนาแน่น น้ำยางพารา สารลดแรงตึงผิว



## Effects of Surfactant on Compressive Strength and Density of Concrete Containing Para Rubber Latex

Pattachai Nirot, Porphan Sutthiwattana and Jakrapan Wongpa\*

Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, Thailand

\* Corresponding Author, Tel. 08 7127 8885, E-mail: Jakrapan.w@rbru.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.09.002

Received 25 January 2021; Revised 5 May 2021; Accepted 25 May 2021; Published online: 1 September 2022

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

This objective of this research is to study the effects of surfactant on compressive strength and density of para rubber latex concrete. Control concrete having compressive strength of 240 ksc and slump between 7.5 and 12.5 cm was chosen for the mix proportion design methods. Testing specimens was separated into 2 groups. The first group, a partial amount of water in control mixture was replaced by para rubber latex at rates of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 percent by weight of water. The second group, 5 percent by weight of para rubber latex was replaced by surfactant for every mixture of the first group. For every mixture, slump of fresh concretes was observed. Compressive strength of each mixture was investigated at the ages of 7, 14, and 28 days, respectively. Density of each specimen was calculated using its weight and volume, one-by-one. It was found that surfactant could increase slump of fresh concrete. In addition, the surfactant resulted in a dramatic decline in the compressive strength of para rubber latex concrete, especially for the mixtures containing 1.5 and 2.0 percent of para rubber latex. Those mixtures showed decreases of 32 and 52 percent in comparison with the control concrete. Irrespective of surfactant, the density of para rubber latex concrete exhibits significant relationship with compressive strength of the specimens.

**Keywords:** Concrete, Compressive Strength, Density, Para Rubber Latex, Surfactant

Please cite this article as: P. Nirot, P. Sutthiwattana, and J. Wongpa, "Effects of surfactant on compressive strength and density of concrete containing para rubber latex," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 2, pp. 603–612, Apr.–Jun. 2023 (in Thai).

## 1. บทนำ

ยางพาราเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยอีกชนิดหนึ่งพบว่า มีเกษตรกรตลอดจนผู้ทำธุรกิจเกี่ยวข้องกับยางพาราประมาณ 1 ล้านครอบครัว จำนวนไม่น้อยกว่า 6 ล้านคน ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกยางพาราและผลิตภัณฑ์ยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก นับตั้งแต่ พ.ศ. 2534 เป็นต้นมา โดยใน พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีการผลิตยางพารา จำนวน 4.77 ล้านตัน และมีการส่งออกมากกว่าร้อยละ 80 ของผลผลิตทั้งหมด แต่การส่งออกยางพาราส่วนใหญ่อยู่ในรูปวัตถุดิบแปรรูป ซึ่งมีมูลค่าเพิ่มต่ำ เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และน้ำยางพารา การสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มจากยางพารายังมีน้อย ทำให้เสียโอกาสในการเพิ่มรายได้ให้กับประเทศและเกษตรกร หากสามารถพัฒนาและส่งเสริมการเพิ่มมูลค่ายางพาราให้สูงขึ้นก็จะส่งผลดีต่อประเทศ และเกษตรกรชาวสวนยางพาราอย่างมหาศาล ดังนั้นยางพาราจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความเป็นไปได้สูงในการส่งเสริมอาชีพ และมีโอกาสพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น [1] วิกฤตราคายางพาราตกต่ำเมื่อ พ.ศ. 2558 ส่งผลให้รัฐบาลกำหนดนโยบายส่งเสริมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับยางพาราเพื่อให้เกิดการใช้ภายในประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ อันจะทำให้เกิดความยั่งยืนของราคาน้ำยางพาราที่ขณะนั้นต้องพึ่งพากำลังซื้อจากนอกประเทศมากเกินไป จึงเป็นโอกาสให้เกิดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับยางพาราเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก จึงทำให้ทั้งทางภาครัฐ ผู้ประกอบการเกษตรกร และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่างให้ความสนใจที่จะเพิ่มมูลค่าของน้ำยางพาราด้วยการนำมาวิจัยต่อยอดและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ ให้ดียิ่งขึ้น เช่น ยางรถยนต์ ยางรองกันการสั่นสะเทือน ยางกันกระแทกทำเรือ ลูมมือยาง รวมไปถึงการนำยางพาราไปผสมกับยางมะตอยเพื่อทำถนนพื้นลู่วางกรีธา พื้นสนามกีฬา

ปัจจุบันในงานด้านวิศวกรรมโยธามีความพยายามที่จะศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุในงานก่อสร้างให้มีความสะดวกในการใช้งานและส่งเสริมการใช้วัสดุภายในประเทศ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย อีกทั้งยังเป็นวัสดุที่สามารถผลิตใช้

เองได้ภายในประเทศ ดังนั้น จึงมีนักวิจัยที่พยายามพัฒนาส่วนผสมคอนกรีตแบบใหม่ที่ยกระดับประสิทธิภาพสมรรถนะหลักของคอนกรีต ได้แก่ กำลัง ความสามารถเทได้ ความทนทาน รวมไปถึงการประยุกต์ใช้คอนกรีตดังกล่าวในงานพิเศษเฉพาะทาง [2] เพื่อให้คอนกรีตสามารถนำไปใช้กับงานหลากหลายประเภทมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะตอบโจทย์ความท้าทายใหม่ๆ ทั้งในการออกแบบ และในการก่อสร้างให้กับวงการวิศวกรรมโยธา ขีดจำกัดของคอนกรีตที่รู้กันดีในปัจจุบันคือเรื่องของความตึงน้ำที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งนำไปสู่ปัญหาการเกิดสนิมในเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต อันจะนำไปสู่การวิบัติของโครงสร้างคอนกรีตก่อนระยะเวลาอันควร จึงมีนักวิจัยพยายามที่จะพัฒนาคอนกรีตให้มีความตึงน้ำมากยิ่งขึ้นโดยการนำวัสดุอื่นมาผสม เช่น ซิลิกาฟุ่ม ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก เถ้าถ่านหิน และเถ้าชีวมวล [3] ปัจจุบันยังพบว่าเริ่มมีการพัฒนางานวิจัยเพื่อนำน้ำยางพารามาพัฒนาคุณสมบัติดังกล่าวของคอนกรีตอีกด้วย [4] แม้การศึกษาเบื้องต้นจะพบว่า น้ำยางพาราจะช่วยพัฒนาคุณสมบัติบางประการให้กับคอนกรีต แต่ปัญหาที่พบบ่อยอย่างหนึ่งคือความไม่เข้ากันของส่วนผสมเมื่อใส่น้ำยางพาราในปริมาณที่มากเกินไป ซึ่งความไม่เข้ากันดังกล่าวนี้จะทำให้การผสมเป็นไปได้อย่างยาก ค่ายุบตัวขณะสดลดลง และกำลังอัดของคอนกรีตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ [5] จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าว จากการวิจัยพบว่าการลดแรงตึงผิวสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานให้กับคอนกรีตได้ [6], [7] อีกทั้งการลดแรงตึงผิวยังมีความสามารถจับไขมันให้สามารถแขวนลอยในน้ำได้ ซึ่งองค์ประกอบส่วนเยื่อหุ้มอนุภาคยางพาราประกอบไปด้วยไขมันประเภทฟอสโฟลิพิด (Phospholipid) [8] จึงมีความเป็นไปได้สูงที่สารลดแรงตึงผิวจะไปยึดจับไขมันของอนุภาคยางพาราให้แขวนลอยในน้ำซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของคอนกรีตได้ดี ทำให้อนุภาคยางกระจายตัวในส่วนผสมได้ดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การผสมคอนกรีตทำได้ง่ายขึ้น และสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตเพิ่มขึ้น

จากแนวคิดดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการนำสารลดแรงตึงผิวมาใช้ในคอนกรีตที่ผสมน้ำยางพารา ซึ่งอาจทำให้



น้ำยางพาราสามารถผสมเข้ากับคอนกรีตผสมสดได้ดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้คอนกรีตมีค่าการยุบตัวที่สูงขึ้น และการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตทำได้ง่าย

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษาผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อกำลังอัด และความหนาแน่นของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา ผู้ศึกษาได้กำหนดวิธีการดำเนินงานวิจัยกลุ่มตัวอย่าง โดยมีการดำเนินการวิจัยเป็นขั้นตอน ได้แก่ การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต การกำหนดวิธีและขั้นตอนการผสมตัวอย่างคอนกรีต การหล่อตัวอย่างทดสอบ การแกะแบบ การบ่ม และการทดสอบอย่างเป็นระบบตาม วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มวลรวมละเอียดมีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C33 [9] ค่าความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งเท่ากับร้อยละ 2.51 และค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 1.83 โดยน้ำหนัก มวลรวมหยาบโตสุดขนาด  $\frac{3}{4}$  นิ้ว ขนาดคละได้มาตรฐานตามที่ระบุใน ASTM C33 มีค่าความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งเท่ากับร้อยละ 2.29 และค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 0.33 โดยน้ำหนัก น้ำที่ใช้ผสมตัวอย่างคอนกรีตเป็นน้ำประปา น้ำยางพาราที่ใช้เป็นน้ำยางพาราธรรมชาติที่ผสมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพไม่ให้เน่าเสียก่อนนำไปผลิตเป็นน้ำยางข้น และสารลดแรงตึงผิวเลือกใช้เป็นน้ำยาล้างผ้าสูตรน้ำ ที่มี Sodium Lauryl Sulfate เป็นสารประกอบหลัก ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ [10] อีกทั้งสารลดแรงตึงผิวประจุลบสามารถทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นด่าง จึงเหมาะสมกับการใช้ในคอนกรีตเนื่องจากคอนกรีตมีสภาวะเป็นด่างจาก  $\text{Ca(OH)}_2$  ซึ่งเป็นองค์ประกอบเคมีหลักในคอนกรีต โดยปกติคอนกรีตมีค่า pH ประมาณ 13 [11] น้ำยางข้นจะนำมาแทนที่น้ำในส่วนผสมคอนกรีตในอัตราส่วนร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักของน้ำ ตามแนวทางการวิจัยก่อนหน้า [5] สำหรับส่วนผสมที่มีสารลดแรงตึงผิวจะใช้สารลดแรงตึงผิวในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของน้ำยางข้นทุกส่วนผสม ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยก่อนหน้าของประชุมที่ใช้ในปริมาณร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก [6], [7] ทดสอบค่าการยุบตัวขณะสดของคอนกรีตทุกส่วนผสม และทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ นำผลที่ได้จากการทดสอบ ทั้งในส่วนของกำลังอัด และค่าการยุบตัว มาวิเคราะห์เพื่อหาผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อคุณสมบัติดังกล่าวของคอนกรีตที่ผสมน้ำยางข้นในอัตราส่วนผสมต่างๆ กัน

### 2.1 ส่วนผสมของคอนกรีตในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI 211-91 [12] โดยกำลังอัดออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้เท่ากับ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นกำลังอัดที่นิยมใช้สำหรับงานก่อสร้างทั่วไปในปัจจุบัน และออกแบบให้ค่าการยุบตัวอยู่ระหว่าง 7.5 และ 12.5 เซนติเมตร ซึ่งเพียงพอสำหรับการใช้งานทั่วไป ค่าที่ได้จากการออกแบบในตารางที่ 1 จะเป็นน้ำหนักของแต่ละส่วนผสมหลักต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตรของคอนกรีตควบคุม (Control) ได้แก่ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ ส่วนน้ำยางพาราจะคำนวณตามปริมาณการแทนที่ของแต่ละส่วนผสม เช่น L-0.5 ซึ่งเป็นส่วนผสมที่ใช้น้ำยางพาราร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักน้ำ ดังนั้น ส่วนผสมของคอนกรีตควบคุมที่ใช้น้ำ 200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จึงถูกแทนที่ด้วยน้ำยางพารา 1 กิโลกรัม ซึ่งในน้ำยางดังกล่าวจะประกอบไปด้วยน้ำร้อยละ 56 และเป็นเนื้อยางร้อยละ 44 ซึ่งปริมาณน้ำในน้ำยางพาราจะนำไปปรับลดน้ำหนักของน้ำในส่วนผสมหลักออก เพื่อให้ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับส่วนผสมควบคุม ดังนั้นปริมาณน้ำในส่วนผสม L-0.5 จึงลดลงจาก 200 เหลือ 199.44 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นต้น และในส่วนของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งใช้เฉพาะในส่วนผสมที่ลงท้ายด้วย “S” คำนวณด้วยอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของน้ำยางพารา สำหรับแต่ละส่วนผสม เช่น ส่วนผสม L-0.5S ซึ่งมีน้ำหนักยางพาราเท่ากับ 1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 0.05 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

### 2.2 การผสม การบ่ม และการทดสอบ

การผสมคอนกรีตในงานวิจัยนี้จะผสมตามส่วนผสมที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 ด้วยเครื่องผสมคอนกรีตแบบลูกข่าง โดยจะทยอยลำเลียงส่วนผสมทั้งหมด ได้แก่ หิน ทราย น้ำ

และปูนซีเมนต์ เข้าสู่เครื่องผสม ตามลำดับ สำหรับส่วนผสมที่มีน้ำยางพารา และสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบ จะนำน้ำยางพาราและสารลดแรงตึงผิวมาผสมเข้ากับน้ำก่อน แล้วจึงผสมคอนกรีตตามปกติ ผสมให้คอนกรีตเข้ากันดีโดยใช้เวลาผสมรวมทั้งสิ้นประมาณ 10 นาที เท่าๆ กันทุกส่วนผสม นำส่วนคอนกรีตสดที่ผสมเข้ากันดีแล้วมาทดสอบค่ายุบตัว ตามมาตรฐาน ASTM C143/C143M [13] ก่อนนำส่วนผสมเทเข้าแบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร โดยแต่ละก้อนตัวอย่างจะกระทำ 3 ชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง ตามมาตรฐาน ASTM C39/C39M [14] จากนั้นคลุมผิวตัวอย่างด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ทิ้งตัวอย่างไว้ ณ สภาวะปกติ 24 ชั่วโมง แล้วจึงแกะตัวอย่างออกจากแบบหล่อ แล้วนำไปบ่มในน้ำ จนถึงเวลาทดสอบ โดยให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำก่อนถึงเวลาทดสอบกำลังอัดประมาณ 3-4 ชั่วโมง โดยประมาณ กระบวนการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตให้เป็นไปตาม ASTM C39/C39M ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราและสารลดแรงตึงผิว หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

Mixture	Cement	Sand	Stone	Water	Latex	Surfactant
Control	323	680	931	200	0.00	0.00
L-0.5	323	680	931	199	1.00	0.00
L-1.0	323	680	931	199	2.00	0.00
L-1.5	323	680	931	198	3.00	0.00
L-2.0	323	680	931	198	4.00	0.00
L-0.5S	323	680	931	199	1.00	0.05
L-1.0S	323	680	931	199	2.00	0.10
L-1.5S	323	680	931	198	3.00	0.15
L-2.0S	323	680	931	198	4.00	0.20

### 3. ผลการทดลอง

#### 3.1 ผลการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด

ผลการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดแสดงในตารางที่ 2 สำหรับส่วนผสมชุดควบคุม เมื่อผสมตามสัดส่วนที่ออกแบบไว้ในตารางที่ 1 ได้ค่ายุบตัวเท่ากับ 9 เซนติเมตร

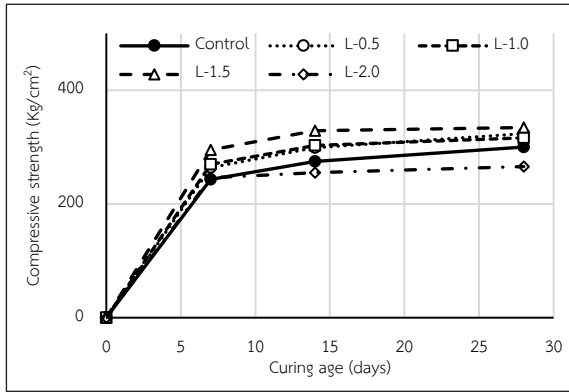
ซึ่งอยู่ระหว่าง 7.5 และ 12.5 ตามที่ได้ออกแบบไว้ และเมื่อมีการแทนที่น้ำด้วยน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่ายุบตัวมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ จนค่ายุบตัวสูงถึง 12 เซนติเมตร สำหรับส่วนผสม L-2.0 ซึ่งเป็นค่าปริมาณน้ำยางพาราสูงสุดในงานวิจัยนี้ สำหรับส่วนผสมที่ผสมน้ำยางพาราร่วมกับสารลดแรงตึงผิวพบว่า ค่าการยุบตัวของส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำยางพาราร้อยละ 0.5 และ 1.0 มีค่าใกล้เคียงกับส่วนผสมที่มีเฉพาะน้ำยางพาราเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำยางพาราสูงขึ้นเป็นร้อยละ 1.5 และ 2.0 จะพบว่า ค่ายุบตัวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจนมีค่าสูงสุดที่ 14 เซนติเมตร ที่ส่วนผสม L-2.0S ซึ่งสูงกว่าที่ได้ออกแบบไว้ แสดงให้เห็นว่า สารลดแรงตึงผิวส่งผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ผสมน้ำยางพารา หรืออีกนัยหนึ่งก็คือคอนกรีตมีความเหลวมากขึ้น โดยเฉพาะกับส่วนผสมที่มีน้ำยางพาราสูงกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักของน้ำ

ตารางที่ 2 ค่ายุบตัวของคอนกรีตส่วนผสมต่างๆ ในงานวิจัย

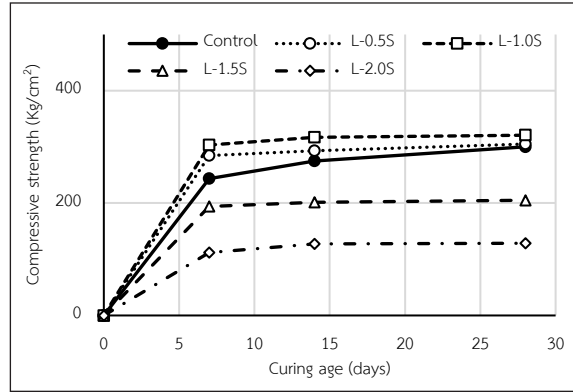
Mixture	Slump (cm)
Control	9
L-0.5	10
L-1.0	10
L-1.5	11
L-2.0	12
L-0.5S	9
L-1.0S	10
L-1.5S	12
L-2.0S	14

#### 3.2 กำลังอัดของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราแสดงในรูปที่ 1 พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตชุดควบคุมมีค่ากำลังอัดที่ 28 วันเท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสูงกว่ากำลังอัดออกแบบที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กำลังอัดทุกส่วนผสมพัฒนาสูงขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น และพบว่า กำลังอัดของ L-0.5, L1.0 และ L-1.5 มีค่าสูงกว่า Control ตั้งแต่อายุ 7 วัน ไปจนถึงอายุ 28 วัน โดยส่วนผสม



รูปที่ 1 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตผสมน้ำยาขี้พาราในสัดส่วนต่างๆ



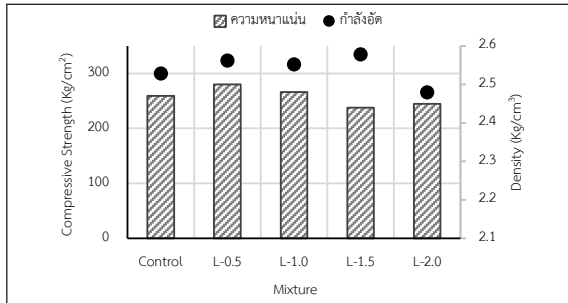
รูปที่ 2 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาขี้พาราและสารลดแรงตึงผิว

L-1.5 มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน สูงสุดในชุดการทดสอบนี้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 335 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าสูงกว่าคอนกรีตควบคุมประมาณร้อยละ 12 ในขณะที่ส่วนผสม L-0.5 และ L-1.0 มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 324 และ 316 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าคอนกรีตควบคุมเช่นกัน ในขณะที่ส่วนผสม L-2.0 มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 266 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมเท่ากับร้อยละ 11 ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า [5] ที่พบว่า การแทนที่น้ำยาขี้พาราร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักของน้ำจะให้กำลังอัดสูงสุดและสูงกว่าคอนกรีตควบคุม ในขณะที่การแทนที่น้ำยาขี้พาราร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักของน้ำจะให้กำลังอัดต่ำที่สุดและต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม เนื่องจากการแทนที่น้ำยาขี้พารา 2.0 ของปริมาณน้ำอาจทำให้โมเลกุลของเนื้อยางจับตัวกันเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ตามแบบจำลองของศิริพรณ และคณะ [4] ซึ่งฟิล์มดังกล่าวจะขัดขวางการทำปฏิกิริยาของคอนกรีตและขัดขวางการยึดเกาะระหว่างซีเมนต์เพสต์และมวลรวม จึงทำให้กำลังอัดลดลงอย่างเห็นได้ชัด [5]

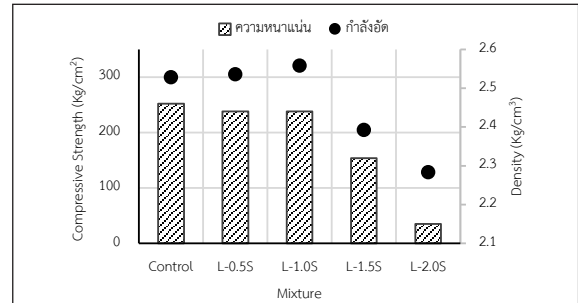
### 3.3 ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อกำลังอัดของคอนกรีตผสมน้ำยาขี้พารา

ผลกระทบของน้ำยาขี้พาราและสารลดแรงตึงผิวต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตแสดงในรูปที่ 2 พบว่า กำลัง

อัดของส่วนผสม L-0.5S และ L-1.0S มีค่าสูงกว่าคอนกรีตควบคุมตั้งแต่อายุ 7 วัน ถึง 28 วัน โดยกำลังอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน เป็นของส่วนผสม L-1.0S ซึ่งมีค่าเท่ากับ 321 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และกำลังอัดของ L-0.5S เท่ากับ 305 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าคอนกรีตควบคุมไม่มาก และเมื่อส่วนผสมมีปริมาณน้ำยาขี้พารามากขึ้นก็จะส่งผลต่อการลดลงของกำลังอัดอย่างรุนแรงและต่อเนื่อง โดยกำลังอัดของ L-1.5S และ L-2.0S มีค่าเท่ากับ 205 และ 129 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นกำลังอัดที่ลดลงร้อยละ 32 และ 57 เมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติตามลำดับ นั้นแสดงให้เห็นว่าสารลดแรงตึงผิวส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตผสมน้ำยาขี้พาราโดยตรง โดยพื้นฐานของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเกิดฟองเมื่อผสมกับน้ำ ซึ่งฟองดังกล่าวจะกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งตัวอย่างทดสอบ เนื่องจากการผสมคอนกรีตขณะสด ฟองดังกล่าวจะกลายเป็นโครงสร้างโพรงที่อยู่ในเนื้อของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว ซึ่งโครงสร้างโพรงยิ่งมากยิ่งส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง [15] โดยเฉพาะคอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำอยู่แล้ว เช่น L-2.0S ประกอบกับปริมาณของสารลดแรงตึงผิวในงานวิจัยนี้คิดเป็นสัดส่วนเทียบกับปริมาณของน้ำยาขี้พาราในส่วนผสม จึงทำให้ส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำยาขี้พารามากก็จะมีปริมาณโครงสร้างโพรงสูงขึ้นไปด้วย แม้ว่าสารลดแรงตึงผิวจะส่งผลให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานได้สูงขึ้นก็ตาม



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ความหนาแน่นที่อายุ 28 วัน และปริมาณน้ำยารพาราในส่วนผสมที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ความหนาแน่นที่อายุ 28 วัน และปริมาณน้ำยารพาราในส่วนผสมที่มีสารลดแรงตึงผิว

### 3.4 ผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อความหนาแน่นของคอนกรีต

ตารางที่ 3 แสดงน้ำหนักของก้อนตัวอย่างคอนกรีตในงานวิจัยเพื่อนำมาคำนวณหาความหนาแน่นของคอนกรีตแต่ละก้อนดังแสดงในตารางที่ 4 โดยปริมาตรของคอนกรีตแต่ละก้อนคำนวณมาจากตัวอย่างคอนกรีตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,571 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อนำกำลังอัดที่อายุ 28 วันของทุกส่วนผสมเปรียบเทียบกับความหนาแน่นที่อายุ 28 วันจะได้ภาพดังแสดงในรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 โดยรูปที่ 3 เป็นของตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว และรูปที่ 4 เป็นของตัวอย่างคอนกรีตที่มีสารลดแรงตึงผิว ตามลำดับ

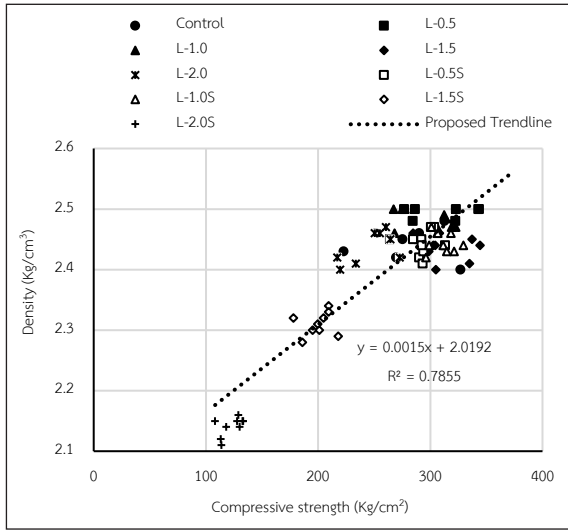
### ตารางที่ 4 ความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตแต่ละก้อนในงานวิจัย

Mixture	Density of Testing Specimens (Kg/cm <sup>3</sup> )								
	7-day			14-day			28-day		
	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3
Control	2.42	2.43	2.46	2.45	2.40	2.43	2.50	2.45	2.46
L-0.5	2.48	2.50	2.45	2.50	2.48	2.45	2.50	2.50	2.50
L-1.0	2.46	2.50	2.50	2.46	2.50	2.47	2.49	2.47	2.47
L-1.5	2.43	2.44	2.46	2.45	2.44	2.40	2.41	2.44	2.46
L-2.0	2.46	2.41	2.46	2.42	2.44	2.40	2.42	2.45	2.47
L-0.5s	2.45	2.42	2.45	2.43	2.41	2.44	2.47	2.47	2.44
L-1.0s	2.44	2.42	2.47	2.43	2.44	2.46	2.43	2.44	2.46
L-1.5s	2.30	2.32	2.34	2.31	2.28	2.29	2.32	2.33	2.30
L-2.0s	2.15	2.11	2.12	2.15	2.15	2.14	2.16	2.14	2.15

### ตารางที่ 3 น้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตแต่ละก้อนในงานวิจัย

Mixture	Weight of Testing Specimens (Kg)								
	7-day			14-day			28-day		
	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3
Control	3.80	3.81	3.86	3.86	3.78	3.83	3.89	3.85	3.87
L-0.5	3.90	3.90	3.85	3.93	3.90	3.85	3.88	3.87	3.90
L-1.0	3.87	3.89	3.89	3.87	3.91	3.88	3.91	3.89	3.89
L-1.5	3.82	3.83	3.86	3.85	3.84	3.76	3.78	3.85	3.87
L-2.0	3.86	3.80	3.87	3.81	3.84	3.77	3.81	3.85	3.88
L-0.5S	3.85	3.80	3.85	3.83	3.79	3.84	3.89	3.89	3.84
L-1.0S	3.84	3.81	3.89	3.83	3.84	3.87	3.83	3.83	3.87
L-1.5S	3.63	3.65	3.68	3.64	3.59	3.61	3.66	3.66	3.62
L-2.0S	3.38	3.32	3.33	3.38	3.38	3.37	3.39	3.37	3.39

ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าความหนาแน่น และกำลังอัดมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนผสมที่มีสารลดแรงตึงผิวที่มีกำลังอัดลดลงอย่างชัดเจน เมื่อตัวอย่างมีความหนาแน่นลดลง และเมื่อตัวอย่างคอนกรีตแต่ละก้อนมีปริมาตรค่อนข้างแน่นอน ดังนั้นความหนาแน่นที่ลดลงจึงมาจากน้ำหนักที่ลดลงเพียงอย่างเดียว และเป็นข้อมูลที่น่าสนับสนุนว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมสารลดแรงตึงผิวในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้คอนกรีตมีฟองอากาศภายในเนื้อคอนกรีตมากขึ้น เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวจะเกิดฟองเมื่อสัมผัสกับน้ำซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sukmak และคณะ [16]



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและกำลังอัดของคอนกรีตทุกตัวอย่าง

ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณการแทนที่สารลดแรงตึงผิวจะส่งผลให้คอนกรีตมีความหนาแน่นลดลง อีกมีงานวิจัยหลายชิ้นได้นำสารลดแรงตึงผิวไปใช้แทนสารกักกระจายฟองอากาศ (Air-entraining Agent) ในคอนกรีต เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวจะทำให้เกิดอนุภาคฟองขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งมีพฤติกรรมคล้ายคลึงกับสารกักกระจายฟองอากาศ [17]–[19] กลายมาเป็นโครงสร้างโพรงจำนวนมากกระจายตัวอยู่ ซึ่งแม้จะช่วยให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานได้เพิ่มขึ้น แต่ส่งผลให้กำลังอัดลดลง

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความหนาแน่นรายก่อนตัวอย่างแสดงในรูปที่ 5 พบว่า กำลังอัดและความหนาแน่นมีความสัมพันธ์กันเป็นเชิงเส้นอย่างชัดเจน ซึ่งความหนาแน่นสามารถประมาณการได้เมื่อรู้ค่ากำลังอัดจากสมการที่ (1) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R<sup>2</sup>) เท่ากับ 0.7855 หรือกล่าวได้ว่าค่าความหนาแน่นจริงจะมีความแม่นยำอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 80 ของค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) เมื่อทราบกำลังอัดที่แท้จริงของคอนกรีตนั้น ซึ่งมีความแม่นยำสูงในระดับที่เชื่อถือได้ กล่าวได้ว่าความหนาแน่นของคอนกรีตแปรผันโดยตรงกับกำลังอัดอย่างมีนัยสำคัญ และการเติมสารลดแรงตึงผิว แม้จะช่วยให้ความสามารถในการทำงานได้สูงขึ้น

แต่ก็ทำให้เกิดโครงสร้างโพรงในเนื้อคอนกรีตตามปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไป และทำให้กำลังอัดลดลงในที่สุด

$$D = 0.0015f'_c + 2.0192 \quad (1)$$

#### 4. อภิปรายผลและสรุป

จากการทดลองพบว่าสารลดแรงตึงผิวมีผลกระทบต่อคอนกรีตผสมน้ำยาพารา ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของค่าการยุบตัวตามปริมาณน้ำยาชั้นที่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสม อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อกำลังอัดอย่างชัดเจน โดยกำลังอัดที่ได้จะลดลงอย่างมากโดยเฉพาะในส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำยาชั้นสูงๆ เช่น L-2.0S มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมถึงร้อยละ 57 ในขณะที่ L-2.0 มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมร้อยละ 11 ซึ่งการลดลงของกำลังอัดอย่างสูงนี้มาจากสารลดแรงตึงผิวก่อให้เกิดฟองกระจายตัวอยู่ในเนื้อของคอนกรีต และกลายเป็นโครงสร้างโพรงจำนวนมาก และยังพบกว่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมน้ำยาพาราทั้งที่ผสมและไม่ผสมสารลดแรงตึงผิวต่างก็แปรผันโดยตรงกับความหนาแน่น ทำให้สามารถทำนายความหนาแน่นของคอนกรีตได้จากค่ากำลังอัด โดยสมการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถใช้ทำนายความหนาแน่นได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจร้อยละ 80

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะประสบความสำเร็จไม่ได้หากปราศจากการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 รวมไปถึงการให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัยจากห้องปฏิบัติการ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี รวมไปถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

#### เอกสารอ้างอิง

[1] Yala Provincial Agriculture and Cooperatives Office. (2019, September). Important of para





- rubber latex. Yala provincial stocks report of 2019 "Para rubber latex". Yala Provincial Agriculture and Cooperatives Office. Yala, Thailand. [Online] (in Thai). Available: <https://www.opsmoac.go.th/yala-dwl-preview-412791791827>
- [2] E. Limsuwan, *Column Analysis and Design I – II*. Bangkok: Chulalongkorn University, 1993 (in Thai).
- [3] P. Jidrada and B. Chatveera, "Effect of combined coal-biomass ash on the chloride penetration resistance of mortar cement: A case study of different anthracite, bituminous, rice husk and eucalyptus ash exposed to synthetic seawater," *KMUTT Research and Development Journal*, vol.35, no.4, pp. 485-499, 2012 (in Thai).
- [4] S. Siriphun, P. Boonun, K. Loha, and A. Gamnerdvam, "Using natural rubber for development of concrete works," Thailand Research Fund, Bangkok, RDG 4750047, 2005 (in Thai).
- [5] 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," *Maharakham International Journal of Engineering Technology*, vol. 7, no. 6, pp. 61–66, 2021.
- [6] P. Khampup, "Use of para-rubber to improve strength and insulation properties of autoclaved aerated lightweight concrete," *KMUTT Research and Development Journal*, vol. 30, no. 2, pp. 363-376, 2007 (in Thai).
- [7] P. Khampup, "Using of medium ammonia concentrated latex mixed in lightweight mortar," *The Journal of Industrial Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 49-56, 2008 (in Thai).
- [8] C. Thongpin, S. Hemsri, P. Intarasanti, R. Khankrua, and S. Thaipitak, "Using of modified natural rubber to improve toughness of epoxy resin," Thailand Research Fund, Bangkok, RDG 4850001, 2005 (in Thai).
- [9] *Standard Specification for Concrete Aggregates*, ASTM C33/C33M-18, 2018.
- [10] S. S. Sahu and I. S. R. Gandhi, "Studies on influence of characteristics of surfactant and foam on foam concrete behaviour," *Journal of Building Engineering*, vol.40, pp. 1–16, 2021.
- [11] A. M. Neville and J. J. Brooks, "Permeability and durability," *Concrete Technology*, 2nd ed. Harlow, England: Pearson, 2010, ch. 14, pp. 269–276.
- [12] *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*, ACI 211.1-91 (Reapproved), 2002.
- [13] *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*, ASTM C143/C143M-20, 2020.
- [14] *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ASTM C39/C39M-14, 2020.
- [15] J. Bu, and Z. H. Tian, "Relationship between pore structure and compressive strength of concrete: Experiments and statistical modeling," *Sādhanā*, vol. 14, no. 3, pp. 337–344, 2016.
- [16] G. Sukmak, P. Sukmak, S. Hoppibulsuk, T. Yaowarat, K. Kunchariyakun, O. Patarapaiboolchai, and A. Arulrajah, "Physical and mechanical properties of natural rubber modified cement paste," *Construction and Building Materials*, vol. 244, no. 12, pp. 1–10, 2020.
- [17] J. Chen, M. Qiao, N. Gao, Q. Ran, J. Wu,



- G. Shan, S. Qi, and S. Wu, "Cationic oligomeric surfactants as novel air entraining agents for concrete," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 538, pp. 686–693, 2018.
- [18] M. Qiao, J. Chen, C. Yu, S. Wu, N. Gao, and Q. Ran, "Gemini surfactants as novel air entraining agents for concrete," *Cement and Concrete Research*, vol. 100, pp. 40–46, 2017.
- [19] G. Shan, S. Zhao, M. Qiao, N. Gao, J. Chen, and Q. Ran, "Synergism effects of coconut diethanol amide and anionic surfactants for entraining stable air bubbles into concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 237, pp. 1–9, 2020.