

การสังเคราะห์ซิลิกาจากเถ้าชีวมวลเพื่อใช้เป็นสารผสมเพิ่ม สำหรับมอร์ตาร์และคอนกรีต

The Synthesis of Silica from Biomass Ash for the Use as an Admixture for Mortar and Concrete

ชรินทร์ นมรัช^{1*}, สหรัฐ สมประชา², สันติภาพ ชามักดี³, จตุรงค์ จุลเดช⁴

^{1,2,3,4}สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้าน
จอมบึง จังหวัดราชบุรี

^{1,2,3,4}Bachelor of Technology Program in Civil Architecture, Faculty of Industrial technology,
Muban Chombueng Rajabhat University,

*Corresponding author E-mail: charin999@hotmail.com

Received 10 Aug 2022 Revised 16 Oct 2022 Accepted 15 Nov 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ซิลิกาจากเถ้าชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ เถ้าแกลบ เถ้าปาล์ม และเถ้าชานอ้อย ด้วยการใช้วิธีโซลเจลและการตกตะกอน ศึกษาอิทธิพลของซิลิกาจากเถ้าชีวมวลต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์และการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต โดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาที่ได้จากการสังเคราะห์ ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 ทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์ที่อายุ 14 28 60 90 และ 300 วัน และทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตแบบแรง ที่อายุ 28 วัน ผลจากการสังเคราะห์ซิลิกาพบว่า เถ้าแกลบให้ปริมาณซิลิกามากกว่าเถ้าชานอ้อย ส่วนเถ้าปาล์มเกิดซิลิกาในปริมาณน้อยมาก โดยเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยสังเคราะห์ซิลิกาได้ร้อยละ 24.6 และ 16.6 ตามลำดับ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกา ส่งผลให้ซิลิกามอร์ตาร์มีความต้องการน้ำมากกว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ และพบว่ากำลังอัดของซิลิกามอร์ตาร์ที่อายุ 14 28 60 และ 90 วัน มีค่าต่ำกว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ ในขณะที่อายุปลายคือที่อายุ 300 วัน ซิลิกามอร์ตาร์สามารถพัฒนากำลังอัดจนมีค่าใกล้เคียงกับซีเมนต์มอร์ตาร์ นอกจากนี้การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาให้ค่าการต้านทานคลอไรด์ได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม โดยซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบให้ค่าการต้านทานคลอไรด์ได้

ดีกว่าซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อย ผลจากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาคอนกรีตจากวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรต่อไป

คำสำคัญ : ซิลิกา เถ้าชีวมวล มอร์ตาร์ คอนกรีต

Abstract

The objectives of this research were to examine the synthesis of silica from biomass ash which consisted of 3 types of agricultural waste material: rice husk ash, palm oil fuel ash, and bagasse ash, by using the sol-gel method and precipitation; to investigate the influence of the silica from biomass ash on the compressive strength of mortar and the chloride penetration of concrete by cement replacing with synthetic silica at 5, 10 and 15%. The compressive strengths of mortars were measured at ages of 14, 28, 60, 90, and 300 days and the rapid chloride penetration of concrete was tested at the age of 28 days. With regard to the silica synthesis, it was found that the rice husk ash and the bagasse ash could produce silica by 24.6% and 16.6% respectively, while the palm oil fuel ash produced silica at a very low level. As a result of the replacement of cement with silica, the silica mortar had a higher water demand than the cement mortar. The compressive strength of the silica mortar at the ages of 14, 28, 60 and 90 days were lower than those of cement mortar, while, at the late age of 300 days, the silica mortar could develop its compressive strength in the same as the cement mortar, as shown that their compressive strength were close to each other. Furthermore, the replacement of cement with silica provided a similar chloride resistance value to controlled concrete. The silica synthesized from rice husk ash had a higher capacity of chloride resistance than the silica synthesized from bagasse ash. The findings of this research can be applied as a guideline for the further development of concrete from agricultural waste materials.

Keywords: silica, biomass ash, mortar, concrete

บทนำ

อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างโดยส่วนใหญ่ มีคอนกรีตเป็นองค์ประกอบหลัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะคอนกรีตเสริมเหล็กมีข้อได้เปรียบวัสดุอื่นหลายด้านเช่น มีความคงทนถาวร ทนต่อสภาวะอากาศได้ดี ทนไฟ มีความแข็งแรง ราคาต่อก่อสร้างที่ถูก ลง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ จากความต้องการใช้คอนกรีตจำนวนมากส่งผลให้ปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์สูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งกระบวนการในการผลิตปูนซีเมนต์ต้องใช้ความร้อนในการเผาวัตถุดิบสูงถึง 1500°C โดยในการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ปล่อย CO_2 ออกสู่บรรยากาศสูงถึง 900 kg (P.K. Mehta.,2009) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน นอกจากนี้การผลิตปูนซีเมนต์ยังก่อให้เกิดฝุ่นละอองส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดก็ลดปริมาณลงทุกปี ความต้องการใช้งานคอนกรีตยังคงมากขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่ในขณะเดียวกันวัสดุที่จะนำมาผลิตคอนกรีตก็มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จึงมีความจำเป็นอยู่ดีที่จะต้องหาวัสดุอื่นมาทดแทนในการผลิตคอนกรีต ไม่ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์หรือมวลรวม ซึ่งการได้มาซึ่งวัสดุทั้งสอง

ชนิดนั้น ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในอดีตที่ผ่านมาการใช้มวลรวมรีไซเคิลและวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ได้มีการศึกษาและนำมาใช้เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้คอนกรีต

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำวัสดุปอซโซลานได้แก่ เถ้าถ่านหิน และเถ้าชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเผาเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตกระแส เช่น เถ้าขานอ้อย เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้ากลบ เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้มีซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักสามารถทำปฏิกิริยา มาใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีต โดยมีงานวิจัยหลายชิ้นที่ได้ศึกษาในเรื่องนี้ (D.F. Aponte, M. Barra, E. Vázquez.,2012) and L. Turanli, B. Uzal, F. Bektas. ,2005). ซึ่งพบว่ามีความศักยภาพที่จะสามารถใช้ในการงานคอนกรีตได้ โดยสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตได้ทั้งด้านคุณสมบัติทางกลและด้านความทนทาน ซิลิกาฟูมก็เป็นวัสดุปอซโซลานอีกชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มสำหรับงานคอนกรีตในต่างประเทศแต่สำหรับประเทศไทยราคาค่อนข้างสูงเนื่องจากต้องนำเข้า จึงได้มี

การศึกษาการใช้เถาชีวมวลมาเป็นวัสดุพอกโซลันอีกทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการใช้เถาชีวมวลมาใช้เป็นวัสดุพอกโซลันโดยไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ผลไม่ดึ้นักโดยเฉพาะในช่วงอายุต้น เนื่องจากขนาดอนุภาคมีขนาดใหญ่เกิดปฏิกิริยาได้ช้า

ในช่วง 10 กว่าปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการใช้นาโนซิลิกาในงานคอนกรีตในต่างประเทศโดยในปี 2004 W. Zhu Zhu, W., Bartos, P. J., & Porro, A., 2004 ได้ประยุกต์ใช้วัสดุนาโนมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง หลังจากนั้นในปีต่อๆ มาได้มีการประยุกต์ใช้นาโนซิลิกามาแทนที่ปูนซีเมนต์ในมอร์ตาร์และคอนกรีต กล่าวคือ Lin และคณะ ปี 2008 Madani, H., Bagheri, A., Parhizkar, T. and Raisghasemi, A., (2014) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกล Nazari, A., & Riahi, S. ปี 2011 และภทรินทร์ ทวดอาจ, (2561) ได้ศึกษาการต้านทานการขัดสีและการหดตัวแห้ง Madani, H. และคณะปี 2014 ปกป้อง รัตนชู, (2557) ได้ใช้นาโนซิลิกาเพื่อศึกษาการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตพบว่าการใช้นาโนซิลิกาส่งผลให้คอนกรีตมีการต้านทานคลอไรด์ได้ดีกว่าคอนกรีตควบคุม จากงานวิจัยที่ผ่านมา

พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่มีการศึกษาในต่างประเทศ โดยเฉพาะการสังเคราะห์นาโนซิลิกาจากเถาชีวมวลในประเทศยังมีการศึกษาไม่มากนัก โดย เจริญ ปัญโญ, (2560) และภทรินทร์ ทวดอาจ, 2561 ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์นาโนซิลิกาจากของเหลือทิ้งทางการเกษตร สำหรับเมืองไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้นาโนซิลิกาจากเถาชีวมวลซึ่งมีเหลือทิ้งในปริมาณสูงมาใช้ในงานคอนกรีต

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ซิลิกาจากเถาชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ เถาแกลบ เถาขานอ้อย และเถาปาล์ม เพื่อนำมาใช้เป็นสารผสมเพิ่มร่วมกับปูนซีเมนต์โดยเปรียบเทียบผลที่ได้กับมอร์ตาร์และคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน ทำการศึกษาผลกระทบของซิลิกาต่อสมบัติด้านกำลังอัดของมอร์ตาร์และการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ต่อคอนกรีต ทั้งนี้สมมติฐานของการศึกษาคือซิลิกาจากเถาชีวมวลสามารถปรับปรุงคุณภาพของมอร์ตาร์และคอนกรีตได้ ทั้งด้านกำลังและความทนทาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับเป็นการลดปัญหาวัสดุเหลือทิ้งและลดค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสียซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม

เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเจ้าชั้วมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง อีกทั้งยังลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ได้อีกทางหนึ่งด้วย แม้ว่าปูนซีเมนต์จะเป็นวัสดุหลักและมีบทบาทสำคัญในงานคอนกรีต แต่ในการผลิตปูนซีเมนต์ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและปริมาณคาร์บอนในชั้นบรรยากาศ ซึ่งการลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์นอกจากจะทำให้ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตถูกลงแล้ว ยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้ง ลดปัญหาสุขภาพและปัญหาสิ่งแวดล้อมจากวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีต เป็นวัสดุทางเลือกสำหรับวัสดุก่อสร้าง เป็นผลให้ประหยัดการใช้วัสดุก่อสร้างเพื่อใช้ในอนาคตได้ยาวนานขึ้น การใช้ปูนซีเมนต์น้อยลงก็จะช่วยลดปริมาณ CO_2 ในชั้นบรรยากาศได้อีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อสังเคราะห์ซิลิกาจากเจ้าชั้วมวลและศึกษาผลกระทบของซิลิกาจากเจ้ากลบและเจ้าชั้วมวลต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์และความทนทานของคอนกรีต

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุในการศึกษาและสังเคราะห์ซิลิกา

1.1 เจ้ากลบจากโรงงานไฟฟ้าบริษัท อุ๋ทองโปไอแมส จำกัด อ.อุ๋ทอง จ.สุพรรณบุรี

1.2 เจ้าชั้วมวลจากโรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมอุ๋ทอง อ.อุ๋ทอง จ.สุพรรณบุรี

1.3 เจ้าปาล์มจากบริษัทเสถียรปาล์ม จำกัด อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี ซึ่งไม่ได้คัดแยกทะลายและกะลา ก่อนเผา

1.4 โซดาไฟ (NaOH)

1.5 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

1.6 กรดไฮโดรคลอริก

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้เจ้าชั้วมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง 3 ชนิด คือ เจ้ากลบ เจ้าปาล์ม และเจ้าชั้วมวล นำมาสังเคราะห์ซิลิกาด้วยวิธีโซลเจลและการตกตะกอน เพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่างๆ คือ ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ เพื่อหล่อเป็นตัวอย่างมอร์ตาร์และคอนกรีต ทำการทดสอบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ได้แก่ กำลังอัดของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C109 การต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต ผลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วนเป็นวัสดุประสาน

2.1 วิธีการในการสังเคราะห์ซิลิกา ด้วยวิธีการโซลเจลและตกตะกอนตามลำดับ ดังนี้

1. นำเข้าชีวมวลผสมกับสารละลายโซดาไฟที่มีอัตราความเข้มข้น 3 mol/L ในอัตราส่วนโซดาไฟต่อน้ำต่อเข้าชีวมวลเท่ากับ 240 : 2000 : 200

2. หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. นำตัวอย่างที่ผ่านการอบไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศเพื่อเอาตะกอนออก

4. นำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้วไปทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 mol/L เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของซิลิกา

5. นำตะกอนซิลิกาที่ได้มากรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็ง

6. นำซิลิกาที่ได้นำไปอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

7. นำซิลิกาที่ผ่านการอบแห้งมาบดจนละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาอัตราการและคอนกรีตในลำดับต่อไป

2.2 วิธีการหลอมมอร์ตาร์

หลังจากหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมมอร์ตาร์ได้แล้วจึงนำซิลิกา ทราบ

ปูนซีเมนต์ ผสมด้วยกันโดยใช้ปริมาณน้ำต่อวัสดุประสานจากการทดสอบความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 0.7 โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาที่ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ซึ่งพบว่าการแทนที่ซิลิกาในปริมาณที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าการไหลแผ่ลดลง นั่นคือมีความต้องการน้ำที่มากขึ้น ตารางที่ 1แสดงสัดส่วนผสมมอร์ตาร์โดยหล่อเป็นตัวอย่างมอร์ตาร์มาตรฐานขนาด $5 \times 5 \times 5$ ซม. บ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14, 28, 60, 90 และ 300 วันเพื่อรอทดสอบกำลังอัดที่อายุต่างๆ เมื่อครบอายุนำตัวอย่างมอร์ตาร์ผึ่งลมให้แห้งจากนั้นบันทึกน้ำหนักทดสอบหาลังอัด

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมมอร์ตาร์

MIX	Mix Proportion (Weight)							
	Cement		Silica		Sand		W/C	
	ratio	(g)	ratio	(g)	ratio	(g)	ratio	(g)
CT	1.00	500	0.00	0	2.75	1375	0.70	350
RS5	0.95	475	0.05	25	2.75	1375	0.70	350
RS10	0.90	450	0.10	50	2.75	1375	0.70	350
RS15	0.85	425	0.15	75	2.75	1375	0.70	350
BS5	0.95	475	0.05	25	2.75	1375	0.70	350
BS10	0.90	450	0.10	50	2.75	1375	0.70	350
BS15	0.85	425	0.15	75	2.75	1375	0.70	350

CT (control) = มอร์ตาร์ควบคุม (ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน)

RS5, RS10, RS15 = มอร์ตาร์ที่ผสมกับซิลิกาที่สังเคราะห์มาจากเถ้าแกลบร้อยละ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ

BS5, BS10, BS15 = มอร์ตาร์ที่ผสมกับซิลิกาที่สังเคราะห์มาจากเถ้าอ้อยร้อยละ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ

2.3 การทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่ง (Rapid chloride penetration test, RCPT or Coulomb charge)

โดยวัดปริมาณประจุไฟฟ้า (the total charge passed value) ที่เคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างคอนกรีต เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการซึมผ่านของคลอไรด์และปริมาณประจุไฟฟ้า (charge passed coulombs) ที่ไหลผ่านตามมาตรฐาน ASTM C1202 ซึ่งกำหนดระดับการซึมผ่านของคลอไรด์ตามจำนวนประจุที่เคลื่อนที่ผ่านขึ้นตัวอย่างคอนกรีต เริ่มจากหล่อตัวอย่างตาม

สัดส่วนในตารางที่ 2 นำตัวอย่างคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm สูง 20 cm มาตัดตามขวางที่ตำแหน่งตรงกลางของแท่งตัวอย่างโดยให้มีขนาดความสูง 50 ± 3 mm ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนา และชั่งน้ำหนัก (ที่สถานะ saturated surface dry) จากนั้นเคลือบผิวด้านข้างตัวอย่างโดยรอบด้วย epoxy ยกเว้นส่วนผิวหน้าด้านบนและด้านล่าง นำชิ้นตัวอย่างประกอบเข้ากับชุดทดสอบแสดงในภาพที่ 1(a) โดยจัดเตรียมลักษณะการทดสอบในห้องที่มีอุณหภูมิควบคุม 23 ± 2 °C ทำการวัด

บันทึกอุณหภูมิ และกระแสไฟฟ้า (I) ที่ไหล ผ่านทุก ๆ 30 นาที ต่อเนื่องกันจนครบ 6 ชั่วโมง ดังภาพที่ 1(b)

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมคอนกรีต

MIX	Mix Proportion (Weight)							
	Cement		Silica		Sand	Stone	W/C	
	ratio	(kg)	ratio	(kg)	(kg)	(kg)	ratio	(kg)
CCT	1	350	0	0	775	1000	0.55	195
CRS10	0.9	35	0.10	220	775	1000	0.55	195
CBS10	0.9	35	0.10	220	775	1000	0.55	195

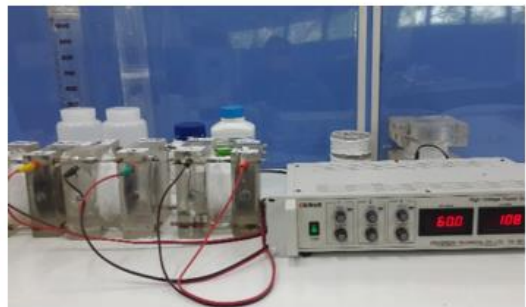
CCT (control) = คอนกรีตควบคุม (ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน)

CRS10 = คอนกรีตที่ผสมกับซิลิกาที่สังเคราะห์มาจากเถ้าแกลบร้อยละ 10

CBS10 = คอนกรีตที่ผสมกับซิลิกาที่สังเคราะห์มาจากเถ้าอ้อยร้อยละ 10



a) นำชิ้นตัวอย่างประกอบเข้ากับชุดทดสอบ



b) บันทึกค่าทุก ๆ 30 นาที จนครบ 6 ชั่วโมง

ภาพที่ 1 การทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่ง

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการสังเคราะห์ซิลิกา

ผลการสังเคราะห์ซิลิกาจากเถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อยและเถ้าปาล์ม โดยหลังจากนำมาเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์พบว่าซิลิกาจากเถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อยและ

เถ้าปาล์ม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 และลักษณะดังภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าหลังจากนำเถ้าชีวมวลทั้ง 3 ชนิดจำนวน 1000 กรัม ผ่านกระบวนการสังเคราะห์โดยวิธีโซเจลให้ผลการเกิดซิลิกาในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยพบว่าปริมาณซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบให้

ปริมาณซิลิกามากที่สุดคือร้อยละ 24.6 ในขณะที่ซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าขานอ้อย พบว่าได้ร้อยละ 16.6 ส่วนเถ้าปาล์มสังเคราะห์ซิลิกาได้ปริมาณน้อยมากซึ่งต่างจากงานวิจัยของหลายท่าน เช่น ปกป้อง รัตนชู [10] ที่รายงานองค์ประกอบทางเคมี

ว่าเถ้าปาล์มมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแหล่งเถ้าปาล์ม ขึ้นส่วน และวิธีการเผาที่นำไปใช้ในครั้งนี้อาจต่างกัน ดังนั้นจึงไม่ได้ใช้ซิลิกาจากเถ้าปาล์มมาใช้เป็นส่วนผสมในการศึกษานี้

ตารางที่ 3 ผลการสังเคราะห์ซิลิกาจากเถ้าชีวมวล

เถ้าชีวมวล	เถ้า (กรัม)	NaOH (กรัม)	HCL (กรัม)	Silica (%)
เถ้าแกลบ	1,000	1,000	1,000	24.6
เถ้าขานอ้อย	1,000	1,000	1,000	16.6
เถ้าปาล์ม	1,000	1,000	1,000	น้อยมาก



a) ซิลิกาที่ผ่านการกรอง



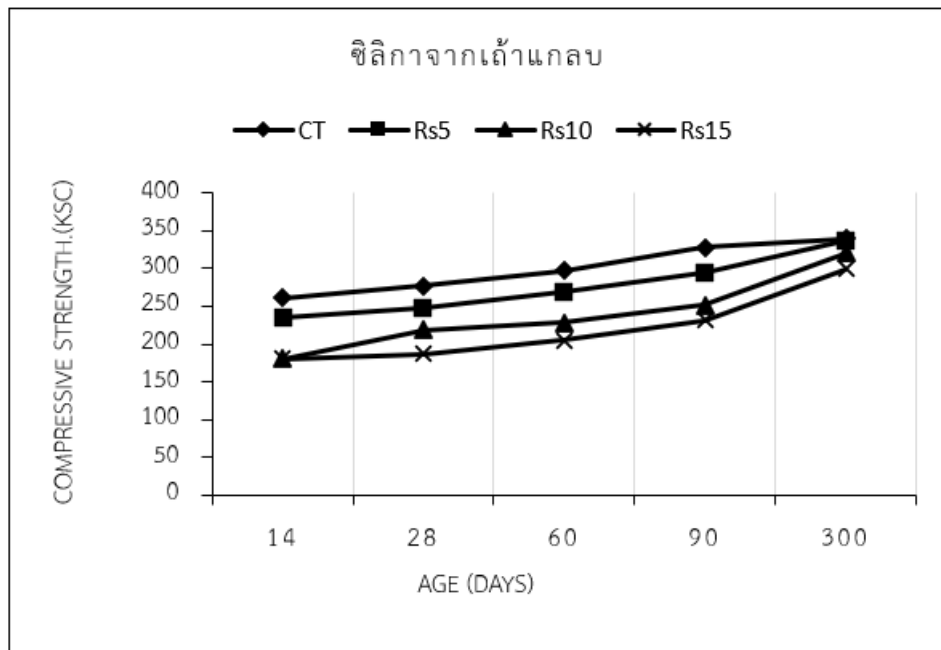
b) ซิลิกาที่ผ่านการอบ



c) ซิลิกาที่ผ่านการบด

ภาพที่ 2 ลักษณะของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้

2. อิทธิพลของอัตราส่วนซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของซิลิการ์มอร์ตาร์จากเถ้าแกลบ กับอายุการบ่ม

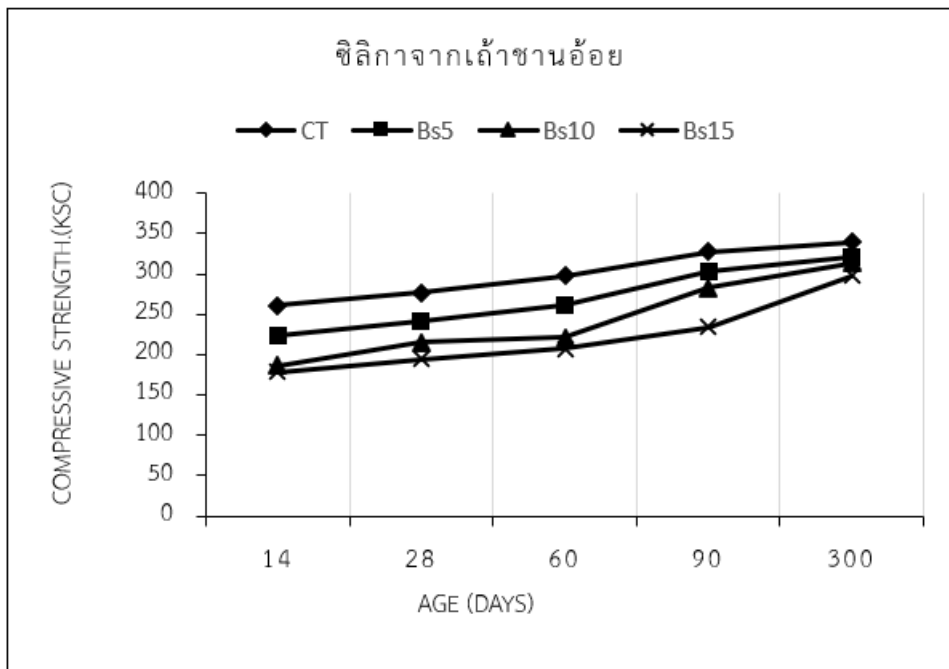
ภาพที่ 3 แสดงค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ซึ่งแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าแกลบ จะเห็นได้ว่ากำลังอัดของทั้งมอร์ตาร์ควบคุมและซิลิกามอร์ตาร์มากขึ้นตามอายุของมอร์ตาร์ โดยที่มอร์ตาร์ควบคุม (CT) มีกำลังอัดมากที่สุดคือ 260.55, 277.00, 297.25, 327.29 และ 338.97 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วันตามลำดับ สำหรับมอร์ตาร์ซึ่งแทนที่ซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบที่ร้อยละ 5 (RS5) มีกำลังอัดคือ

234.18, 248.05, 268.57, 294.80 และ 336.26 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วันตามลำดับ สำหรับมอร์ตาร์ซึ่งแทนที่ซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบที่ร้อยละ 10 (RS10) มีกำลังอัดคือ 180.09, 219.10, 227.79, 251.99 และ 320.63 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วันตามลำดับ และสำหรับมอร์ตาร์ซึ่งแทนที่ด้วยซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบที่ร้อยละ 15 (RS15) มีกำลังอัดคือ 180.63, 187.02, 204.55,

231.74 และ 298.88 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วันตามลำดับ พบว่า การเพิ่มซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าแกลบในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลงตามปริมาณซิลิกาที่เพิ่มขึ้น เช่น กำลังอัดที่อายุ 90 วันสำหรับมอร์ตาร์ซึ่งแทนที่ด้วยซิลิกาที่ร้อยละ 5 (RS) มีกำลังอัดเท่ากับ 294.8 กก/ชม² แต่เมื่อแทนที่ซิลิกาจากเถ้าแกลบที่ร้อยละ 10 (RS10) และร้อยละ 15 (RS15) กลับทำให้กำลังอัดลดลงเหลือ 251.99 และ 231.74 กก/ชม² ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขนาดอนุภาคของซิลิกาที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ยังมีขนาดไม่เล็กพอที่จะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี ซึ่งจากการศึกษาของ Cordeiro และคณะ Cordeiro, G. C., Toledo Filho, R. D., Tavares, L. M., Fairbairn, E. D. M. R., & Hempel, S., (2011) พบว่าวัสดุปอซโซลานจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็ก

แม้ว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าแกลบในปริมาณสูง (ร้อยละ 15) จะทำให้มอร์ตาร์มีกำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุมก็ตาม แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงอายุปลาย (60, 90 และ 300 วัน) ค่ากำลังอัดของซิลิกามอร์ตาร์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟที่มีความชันมากกว่า ในขณะที่มอร์ตาร์ควบคุมซึ่งใช้ปูนซีเมนต์เป็นหลักเริ่มมีกำลังอัดที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ในช่วง 90 ถึง 300 วัน แต่ซิลิกามอร์ตาร์สามารถเพิ่มกำลังอัดได้มากขึ้นเกือบเทียบเท่ามอร์ตาร์ควบคุมที่อายุปลาย โดยที่อายุ 300 วัน มอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าแกลบร้อยละ 5 (RS5) ให้ค่ากำลังอัดมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างซิลิกามอร์ตาร์ด้วยกัน และมีค่ากำลังอัดที่มากขึ้นเกือบเทียบเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุม ทั้งนี้ปฏิกิริยาปอซโซลานจะให้ผลชัดเจนในช่วงอายุปลาย

3. อิทธิพลของอัตราส่วนซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของซิลิกามอร์ตาร์จากเถ้าชานอ้อย กับอายุการบ่ม

จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นตามอายุ โดยที่มอร์ตาร์ควบคุม (CT) มีกำลังอัดที่มากที่สุดคือ 260.55, 277.00, 297.25, 327.29 และ 338.97 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วันตามลำดับ สำหรับมอร์ตาร์ที่แทนที่ซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าอ้อยที่ร้อยละ 5 (BS5) มีกำลังอัดคือ 224.40, 241.25, 262.18, 303.36 และ 321.44 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300

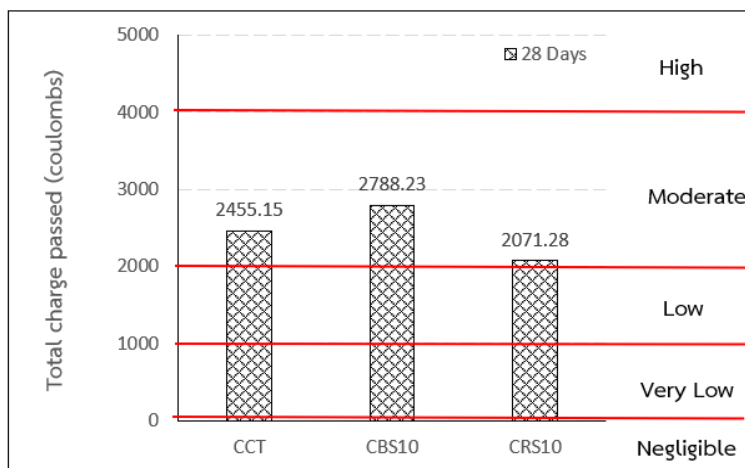
วันตามลำดับ สำหรับมอร์ตาร์ที่แทนที่ซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าอ้อยที่ร้อยละ 10 (BS10) มีกำลังอัดคือ 186.20, 215.43, 221.00, 282.57 และ 313.15 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วันตามลำดับ สำหรับมอร์ตาร์ที่แทนที่ซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าอ้อยที่ร้อยละ 15 (BS15) มีกำลังอัดคือ 178.59, 194.22, 207.27, 234.32 และ 297.38 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วัน

ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแทนที่ซิลิกาที่ได้จากเถ้าขานอ้อยในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลงตามปริมาณซิลิกาที่แทนที่เพิ่มขึ้น เช่นกำลังอัดที่อายุ 90 วัน ของซิลิกามอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยซิลิการ้อยละ 5 (BS5) มีกำลังอัดเท่ากับ 303.36 กก/ซม² แต่เมื่อแทนที่ซิลิกาที่ร้อยละ 10 (BS10) และร้อยละ 15 (BS15) กลับทำให้กำลังอัดลดลงเหลือ 282.57 และ 234.32 กก/ซม² ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขนาดอนุภาคของซิลิกาที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ยังมีขนาดที่ไม่เล็กพอที่จะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี

แม้ว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าขานอ้อยในปริมาณสูง (ร้อยละ 15) จะทำให้มอร์ตาร์มีกำลังอัด

น้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุม แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในช่วงอายุปลาย (60, 90 และ 300 วัน) ค่ากำลังอัดของซิลิกามอร์ตาร์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟที่มีความชันมากกว่า ในขณะที่มอร์ตาร์ควบคุมซึ่งใช้ปูนซีเมนต์เป็นหลักเริ่มมีกำลังอัดที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนักในช่วง 90 ถึง 300 วัน แต่ซิลิกามอร์ตาร์สามารถเพิ่มกำลังอัดได้มากขึ้นเกือบเทียบเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุมที่อายุปลาย โดยที่อายุ 300 วัน มอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยซิลิการ้อยละ 5 (BS5) ให้ค่ากำลังอัดมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างซิลิกามอร์ตาร์ด้วยกัน และมีค่ากำลังอัดเกือบเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุม

4. การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบค่าการต้านทานคลอไรด์ในคอนกรีตที่มีอายุ 28 วัน

ผลจากการทดสอบปริมาณประจุไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลังจากการทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์แบบเร่งแสดงดังภาพที่ 5 พบว่าคอนกรีตทั้ง 3 กลุ่ม ให้ค่าการต้านทานคลอไรด์อยู่ในระดับเดียวกันคือระดับปานกลางหรือระดับปกติ (Moderate) โดยคอนกรีตควบคุม (CCT) มีค่าการไหลผ่านของประจุไฟฟ้าอยู่ที่ 2455.15 คูลอมป์ ในขณะที่คอนกรีตที่แทนที่ด้วยซิลิกาที่สังเคราะห์มาจากเถ้าแกลบปริมาณร้อยละ 10 (CRS10) มีค่าการไหลผ่านของประจุไฟฟ้าอยู่ที่ 2071.28 คูลอมป์ และคอนกรีตที่ถูกแทนที่ด้วยซิลิกาที่สังเคราะห์มาจากเถ้าอ้อยปริมาณร้อยละ 10 (CBS10) มีค่าการไหลผ่านของประจุไฟฟ้าอยู่ที่ 2788.23 คูลอมป์ ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าคอนกรีตที่แทนที่ด้วยซิลิกาที่ได้มาจากเถ้าแกลบร้อยละ 10 (CRS10) ให้ค่าการต้านทานคลอไรด์ได้ดีกว่าคอนกรีตที่แทนที่ด้วยซิลิกาที่ได้มาจากเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10 (CBS10)

เมื่อพิจารณาการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตควบคุมกับคอนกรีตที่แทนที่ด้วยซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบร้อยละ 10 (CRS10) จะเห็นได้ว่าคอนกรีต

CRS10 สามารถให้ค่าการต้านทานคลอไรด์ที่ดีกว่า ทั้งนี้เพราะผลิตภัณฑ์จาก C-S-H ที่ได้จากปฏิกิริยาปอซโซลานทำให้ไอออนของคลอไรด์ถูกจำกัดไม่ให้เข้าไปแทรกตัวในคอนกรีต [12] จึงทำให้การไหลของอิเล็กโทรไลต์ลดลงก่อนที่จะเข้าไปถึงเหล็กเมื่อเปรียบเทียบผลของซิลิกาต่อการแทรกซึมของคลอไรด์และผลต่อกำลังอัดจะเห็นได้ว่าซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบให้ผลดีต่อคอนกรีตในด้านการต้านทานคลอไรด์มากกว่าด้านกำลังอัด ดังนั้นแม้ว่าที่อายุ 28 วัน คอนกรีตควบคุมจะมีกำลังอัดที่สูงกว่า คอนกรีต CRS10 แต่ไม่ได้หมายความว่าคอนกรีตควบคุมจะมีการต้านทานคลอไรด์ที่ดีกว่า

สรุปผลการศึกษา

1. การสังเคราะห์ซิลิกาพบว่าเถ้าแกลบ ให้ซิลิกามากที่สุดที่ร้อยละ 24.6 เถ้าชานอ้อยสังเคราะห์ซิลิกาได้ร้อยละ 16.6 ส่วนเถ้าปาล์มสังเคราะห์ซิลิกาได้น้อยมาก
2. การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาในปริมาณสูงส่งผลให้มอร์ตาร์และคอนกรีตมีความต้องการน้ำมากกว่ามอร์ตาร์และคอนกรีตจากซีเมนต์ล้วน

3. กำลังอัดของซิลิกามอร์ตาร์ที่อายุ 14, 28, 60 และ 90 วันมีกำลังอัดที่ต่ำกว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ โดยการแทนที่ซิลิกาในปริมาณที่สูงขึ้นคือเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และ ร้อยละ 15 จะส่งผลให้กำลังอัดลดลง โดยกำลังอัดของซิลิกามอร์ตาร์แปรผกผันกับปริมาณซิลิกาที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ และพบว่าที่อายุปลายคือ 300 วันกำลังอัดของซิลิกามอร์ตาร์สามารถพัฒนาจนมีค่าใกล้เคียงกับซีเมนต์มอร์ตาร์

4. การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาให้ผลการต้านทานคลอไรด์ได้ไม่ชัดเจนมากนัก โดยคอนกรีตที่แทนที่ด้วยซิลิกา ให้ค่าการต้านทานคลอไรด์ได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม สำหรับซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบให้ค่าการต้านทานคลอไรด์ได้ดีกว่าซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าขานอ้อย

ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้สารลดน้ำเพื่อให้ได้ค่าการไหลแฉะที่เหมาะสมทั้งนี้เนื่องจากการแทนที่ซีเมนต์ด้วยซิลิกากำหนดให้มอร์ตาร์มีค่าการดูดน้ำสูงกว่าซีเมนต์มอร์ตาร์

2. ควรเพิ่มอายุการบ่มเพื่อให้เห็นผลของซิลิกามีความชัดเจนมากขึ้น

3. ควรสังเคราะห์ซิลิกาให้ถึงขั้นระดับนาโนซิลิกา ทั้งนี้เนื่องจากผลการทดลองยังไม่เห็นผลของซิลิกาที่ชัดเจน เนื่องจากความละเอียดของซิลิกาที่ใช้ยังไม่สูงพอ

ทั้งนี้หากสามารถสังเคราะห์นาโนซิลิกาจากเถ้าขี้เถ้าได้ ก็จะช่วยลดการนำเข้านาโนซิลิกาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง

เอกสารอ้างอิง

- เจริญ ปัญญ. (2560). การสังเคราะห์นาโนซิลิกาจากขี้เถ้าขานอ้อยและการดัดแปรพื้นผิวให้ไม่ชอบน้ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ภัทรนันท์ ทวดอาจ. (2561). การศึกษานาโนซิลิกาจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรสู่วัสดุเชิงพาณิชย์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 20(1).
- ปกป้อง รัตนชู. (2557). การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มน้ำมันจากแหล่งนิคมบาเจาะ จังหวัดนราธิวาส. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, (6)3.
- Cordeiro, G. C., Toledo Filho, R. D., Tavares, L. M., Fairbairn, E. D. M. R., & Hempel, S. (2011). Influence of particle size and specific surface area on the pozzolanic activity of residual rice husk ash. *Cement and*

- Concrete Composites*, 33(5), 529-534.
- D.F. Aponte, M. Barra, E. Vázquez. (2012). Durability and cementing efficiency of fly ash in concretes. *Construction and Building Materials* 30, 537-546.
- Lin, O.H., Mohd Ishak, Z.A. and Akil, H.M., (2009). Preparation and Properties of Nanosilica-Filled Polypropylene Composites with Pp-Methyl Poss as Compatibiliser. *Materials & Design*, 30(3), 748-751.
- L. Turanli, B. Uzal, F. Bektas. (2005). Effect of large amounts of natural pozzolan addition on properties of blended cements. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1106-1111.
- Madani, H., Bagheri, A., Parhizkar, T. and Raisghasemi, A., (2014). Chloride Penetration and Electrical Resistivity of Concretes Containing Nanosilica Hydrosols with Different Specific Surface Areas. *Cement and Concrete Composites*, 53, 18-24.
- M.H. Tadayon, M. Shekarchi, M. Tadayon. (2016). Long-term field study of chloride ingress in concretes containing pozzolans exposed to severe marine tidal zone. *Construction and Building Materials*, 123 (Supplement C), 611-616.
- Nazari, A., & Riahi, S. (2011). The effects of SiO₂ nanoparticles on physical and mechanical properties of high strength compacting concrete. *Composites Part B: Engineering*, 42(3), 570-578.
- P.K. Mehta. Global concrete industry sustainability. (2009). *Concrete International*, 31(2), 45-48.
- Zhu, W., Bartos, P. J., & Porro, A. (2004). Application of nanotechnology in construction. *Materials and structures*, 37(9), 649-658.