

การใช้หินฝุ่นและเถ้าขานอ้อยในงานคอนกรีตสำหรับลานตากข้าวในชุมชน Utilization of Stone Dust and Bagasse Ash in Concrete for Community Rice Drying Yards

ประชุม คำพูด¹ ทวิช กล้าแท้^{2*} นกตล ศรภักดิ์² ชูเกียรติ ชูสกุล² สุพร ฤทธิภักดิ์² รัฐพล สมนา³ และ เกียรติสุดา สมนา³

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี

² สาขาวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.นครศรีธรรมราช

³ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา

*Corresponding author; E-mail address: tawich.k@mutsv.ac.th, prachoom_k@mutt.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเกษตรกรประสบปัญหาการขาดแคลนพื้นที่ลานตากข้าวหลังฤดูเก็บเกี่ยว ทำให้ต้องใช้ถนนเป็นลานตากชั่วคราว ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านความปลอดภัยและการจราจร ดังนั้น การพัฒนาพื้นคอนกรีตสำหรับลานตากข้าวที่สามารถเพิ่มอุณหภูมิผิวหน้าเพื่อเร่งกระบวนการทำให้ข้าวแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ งานวิจัยนี้ศึกษาคอนกรีตใช้หินฝุ่นแทนทรายในสัดส่วน 100% ของมวลรวมละเอียด และใช้เถ้าขานอ้อยทดแทนปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกในปริมาณ 0%, 10%, 20%, 30% และ 40% โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 1, 3, 7, 28 และ 90 วัน ความต้านทานการขัดสีของคอนกรีต ที่อายุ 28 และ 90 วัน และทดสอบอุณหภูมิผิวหน้าของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน ผลการทดลองพบว่า คอนกรีตที่ใช้เถ้าขานอ้อยทดแทนปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก 40% ที่อายุ 90 วัน ให้ค่าความต้านแรงอัดสูงสุดที่ 42.6 เมกะปาสกาล นอกจากนี้เมื่อนำคอนกรีตดังกล่าวไปใช้ในพื้นที่ทดลองและเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติ พบว่ามีอุณหภูมิผิวหน้าสูงกว่าคอนกรีตปกติประมาณ 10.3°C แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำไปใช้เป็นคอนกรีตลานตากข้าวที่ช่วยลดระยะเวลาการตากข้าว ทั้งยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากของเสียอุตสาหกรรมโดยการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

คำสำคัญ: คอนกรีตผสมเสร็จ, ลานตากข้าว, หินฝุ่น, เถ้าขานอ้อย, ของเหลือทิ้งอุตสาหกรรม

Abstract

Currently, farmers face a shortage of drying yards during the harvest season, leading them to use roads as temporary drying areas, which can pose safety and traffic issues. Developing a concrete drying yard with an increased surface temperature to accelerate the drying process is a promising solution. This research studies concrete using stone dust instead of sand in the proportion of 100% of fine aggregate, while bagasse ash was used as a partial replacement for hydraulic cement at 0%, 10%, 20%, 30%, and 40 wt% of binder. Compressive strength tests were at curing ages of 1, 3, 7, 28 and 90 days, while abrasion resistance at 28 and 90 days and temperature surface of concrete were tests at 28 days. The results showed that concrete with 40% bagasse ash replacement achieved the highest compressive strength of 42.6 MPa at 90 days. Furthermore, field testing revealed that the developed concrete

had a surface temperature approximately 10.3°C higher than conventional concrete. These findings indicate that the proposed concrete mix is suitable for use in drying yards, effectively reducing drying time while also promoting environmental sustainability by utilizing industrial waste materials.

Keywords: Bagasse ash, Industrial waste materials, Ready mix concrete, Rice drying yards, Stone dust

1. คำนำ

“ลานตากพืชผลทางการเกษตร” เป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการลดความชื้นของพืชเศรษฐกิจไม่ว่าจะเป็น ข้าวเปลือก ข้าวโพด หรือมันสำปะหลัง ก่อนนำไปเก็บรักษาหรือแปรรูป เพื่อป้องกันเชื้อราและรักษาคุณภาพของผลผลิต อย่างไรก็ตาม เกษตรกรจำนวนมากยังคงประสบปัญหาขาดแคลนลานตากที่ได้มาตรฐาน เนื่องจากข้อจำกัดด้านพื้นที่และงบประมาณ ทำให้ต้องตากบนลานดิน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของพืชผลทางการเกษตร [1] ทำให้เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสในการขายพืชผลทางการเกษตร ซึ่งการลดความชื้นที่นิยม คือ การนำพืชผลทางการเกษตรไปตากในลานตากคอนกรีต โดยใช้พลังงานความร้อนช่วยให้ความชื้นลดลงประมาณ 1 - 2 วัน เมื่อความชื้นลดลงตามต้องการจึงนำเข้าที่เก็บ นอกจากนี้การลดความชื้นด้วยเครื่องอบเป็นอีกวิธีการที่โรงสีส่วนใหญ่นิยมหลักการทั่วไป คือใช้อากาศร้อนที่ได้จากการเผาเชื้อเพลิง ผ่านพืชผลทางการเกษตรที่อยู่ในเครื่องอบ ความร้อนจะทำให้ความชื้นในพืชผลทางการเกษตรลดลงได้ตามต้องการ วิธีการนี้ไม่ใช้พื้นที่มากเหมือนลานตากทั่วไป ใช้เวลาน้อยและควบคุมความชื้นได้ดี แต่มีค่าใช้จ่ายสูงในการจัดหาเครื่องจักรขนาดใหญ่ [2] จึงเป็นสาเหตุให้เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่นำพืชผลทางการเกษตรมาตากบนถนน ซึ่งเสี่ยงอันตรายต่อผู้ใช้รถใช้ถนน ซึ่งคอนกรีตเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในการก่อสร้างลานตากพืชผลทางการเกษตรเนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทาน และบำรุงรักษาง่าย อย่างไรก็ตามการใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณมากส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้น การพัฒนาแนวทางลดการใช้ปูนซีเมนต์โดยการนำวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรม เช่น เถ้าขานอ้อยและหินฝุ่น มาเป็นวัสดุทดแทน จึงเป็นทางเลือกที่สามารถช่วยลดต้นทุน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตในงานก่อสร้างลานตากข้าว จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำเถ้าขานอ้อยมาแทนปูนซีเมนต์บางส่วน เพื่อใช้ในงานคอนกรีต พบว่า โดยทั่วไปเถ้าขานอ้อยมีสีเทาเข้ม หรือสีดำ หากมี

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพ เช่น การบดละเอียด และมีการแทนที่ในปริมาณที่เหมาะสม สามารถเพิ่มสมบัติที่ดีด้านกำลังอัด และด้านความทนทานของคอนกรีต [3-7] ในขณะที่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะทั่วไปของหินฝุ่นพบว่ามีความชื้นสูง และความสม่ำเสมอมากกว่าทราย และมีขนาดใกล้เคียงกับทรายธรรมชาติ หากมีการคัดแยกขนาดที่ดีจะช่วยลดการดูดซึมน้ำ ลดการแตกร้าว (Bleeding) การแยกตัว (segregation) และเพิ่มความสามารถในการเทได้ของคอนกรีต [8-9]

บทความวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกบางส่วน ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และหินฝุ่นทดแทนทราย ในอัตราส่วนร้อยละ 100 ของมวลรวมละเอียด เพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัด ความต้านทานการขัดสีของคอนกรีต และอุณหภูมิผิวหน้าของคอนกรีต เพื่อคาดหวังจะสามารถลดระยะเวลาในการตากพืชผลทางเกษตรให้น้อยลงจากความชื้นของสีคอนกรีต นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มจากการนำของเสียจากภาคอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล มาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัตถุดิบทดแทนหรือนำมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ในการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมธุรกิจก่อสร้าง อันจะส่งผลกระทบต่อในเชิงบวกต่อโลก ในการช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการนำเสนอเป็นนโยบายสำหรับผลักดันให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้นำคอนกรีตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไปขยายผลใช้กับองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น ชุมชน เกษตรกร และผู้ประกอบการ อย่างแพร่หลาย เพื่อนำไปพัฒนาสถานที่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งในแง่ของการลดระยะเวลาการตากและเพิ่มความทนทานต่อการใช้งาน นอกจากนี้ การใช้วัสดุเหลือใช้ยังช่วยส่งเสริมแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน และลดปริมาณของเสียจากภาคอุตสาหกรรม อันจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร ชุมชน และสิ่งแวดล้อมโดยรวม

2. วิธีการศึกษา

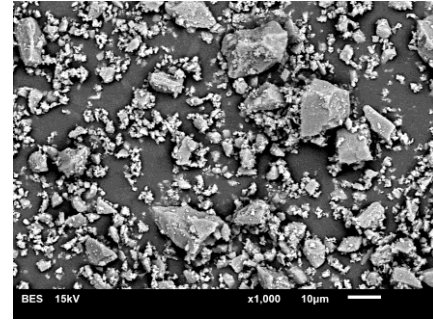
2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement, HC)

ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement, HC) แสดงในรูปที่ 1 (a) มีองค์ประกอบทางเคมีที่ตรงตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2594-2556 [10] และ ASTM C1157 Type GU [11] โดยมีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ CaO และ SiO₂ มีค่าร้อยละ 61.6 และ 21.9 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า LOI ร้อยละ 1.5 โดยทั่วไปมีสีเทาอ่อน เนื้อละเอียด โดยภาพถ่ายกำลังสูงด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope ของ HC แสดงใน รูปที่ 1 (b) พบว่ามีลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม รูปร่างไม่แน่นอน และมีเนื้อแน่น มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (Mean Particle Size, d_{50}) เท่ากับ 17.7 ไมโครเมตร โดยสมบัติทางเคมี และการกระจายตัวของอนุภาค ของ HC แสดงในตารางที่ 1 และ รูปที่ 2 ตามลำดับ



(a) ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (HC)

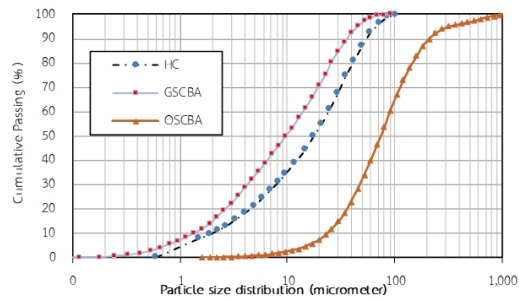


(b) ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (HC) กำลังขยาย 1,000 เท่า

รูปที่ 1 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement, HC)

2.1.2 เถ้าขานอ้อยบดละเอียด (GSCBA)

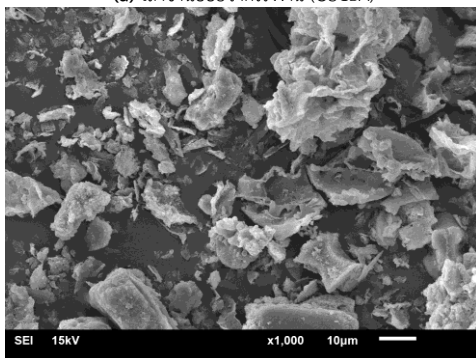
เถ้าขานอ้อยจากโรงงาน (Original Sugarcane Bagasse Ash, OSCBA) ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มาจากโรงงานผลิตน้ำตาล ในจังหวัดลพบุรี โดยนำมาตากแดดให้แห้งเพื่อไล่ความชื้น จากนั้นนำเถ้าขานอ้อยที่แห้งแล้วมาร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16 เพื่อแยกเอาเถ้าขานอ้อยที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์และสิ่งเจือปนอื่นๆออก ลักษณะทั่วไปของ OSCBA ก่อนบดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (Mean Particle Size, d_{50}) เท่ากับ 79.1 ไมโครเมตร พบว่ามีลักษณะเนื้อเถ้าหยาบ มีวัชพืชกับเศษขานอ้อยเจือปนอยู่เล็กน้อย เนื่องจากการกองทิ้งไว้ในที่โล่ง ดังรูปที่ 3 (a) โดยภาพถ่ายกำลังสูงด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope ของ OSCBA แสดงใน รูปที่ 3 (b) มีเนื้อเถ้าหยาบมองเห็นเป็นเม็ดมีเหลี่ยมมุมไม่มีรูทรงชัดเจน มีความพรุนหลังจากนำ OSCBA ไปทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และผ่านการบดละเอียดด้วยเครื่องบดแบบตกกระทบ (Los Angeles abrasion machine) เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง จะได้ GSCBA รูปที่ 3 (c) ที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (Mean Particle Size, d_{50}) เท่ากับ 6.4 ไมโครเมตร โดยภาพถ่ายกำลังสูงด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope ของ GSCBA มีสีดำสนิท เนื้อเถ้ามีขนาดเล็กละเอียดหลังผ่านการบดละเอียด ดังรูปที่ 3 (d) โดยการกระจายตัวของอนุภาคของ OSCBA และ GSCBA แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งลักษณะทั่วไปของ GSCBA มีสีดำสนิท เนื้อเถ้ามีขนาดเล็กละเอียด มีองค์ประกอบหลักคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) เท่ากับร้อยละ 61.1, 7.9 และ 6.2 ตามลำดับ ซึ่งมีผลรวมทั้ง 3 องค์ประกอบหลัก เท่ากับ 75.2 นอกจากนี้ยังพบว่า GSCBA มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO), ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เท่ากับ 9.2, 1.8 และ 1.8 ตามลำดับ มีค่าการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition, LOI) เท่ากับ 8.9 โดยน้ำหนัก เมื่อจัดประเภทของวัสดุปอชโซลานตามมาตรฐาน ASTM C618 [12] ตรงตามประเภทของวัสดุปอชโซลาน Class N ซึ่งต้องมีผลรวมของ SiO₂, Al₂O₃ และ Fe₂O₃ อยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 แสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 การกระจายตัวของอนุภาคปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement, HC) เถ้าขานอ้อยจากโรงงาน (OSCBA) และเถ้าขานอ้อยบดละเอียด (GSCBA)



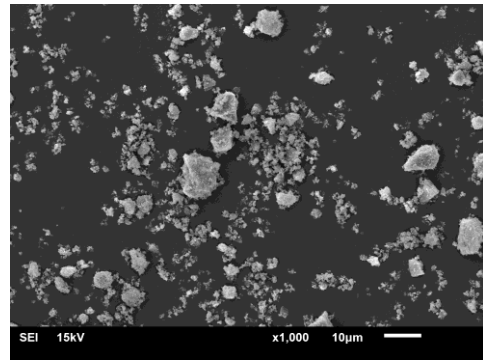
(a) เถ้าขานอ้อยจากโรงงาน (OSCBA)



(c) เถ้าขานอ้อยจากโรงงาน (OSCBA) กำลังขยาย 1,000 เท่า



(b) เถ้าขานอ้อยบดละเอียด (GSCBA)



(d) เถ้าขานอ้อยบดละเอียด (GSCBA) กำลังขยาย 1,000 เท่า

รูปที่ 3 ภาพถ่ายเถ้าขานอ้อยจากโรงงาน (OSCBA) และเถ้าขานอ้อยบดละเอียด (GSCBA)

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement, HC) และเถ้าขานอ้อยบดละเอียด (GSCBA)

Materials		HC	GSCBA
Physical Properties	Specific gravity	3.13	2.12
	Median particle size, d_{50} (μm)	17.7	6.4
Chemical Composition (%)	Silicon dioxide (SiO_2)	21.9	61.1
	Aluminum oxide (Al_2O_3)	4.6	7.9
	Ferric oxide (Fe_2O_3)	3.9	6.2
	Calcium oxide (CaO)	61.6	9.2
	Magnesium oxide (MgO)	2.0	1.8
	Potassium oxide (K_2O)	0.5	2.9
	Sodium oxide (Na_2O)	0.2	0.2
	Sulfur trioxide (SO_3)	3.6	1.8
	Loss on ignition (LOI)	1.5	8.9
	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	-	75.2

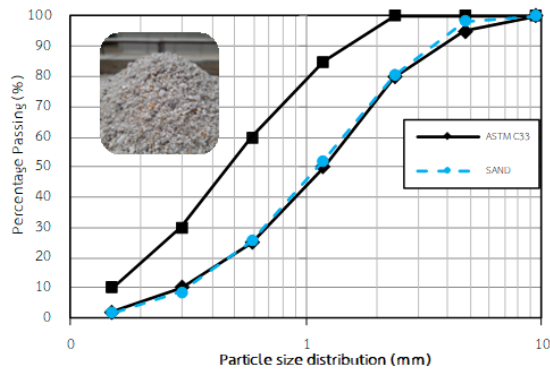
2.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานวัสดุผสม

2.2.1 ทรายแม่น้ำ (River Sand, RS)

มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการศึกษาเป็นทรายแม่น้ำจากจังหวัดสระแก้ว ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของมวลรวมละเอียด ที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ค้างตะแกรงมาตรฐาน 100 มีสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าโมดูลัสความละเอียด ตามมาตรฐาน ASTM C33 [13] ค่าความถ่วงจำเพาะอิมัวแห้ง และการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C128 [14] แสดงดังตารางที่ 2 โดยมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.78 ค่าความถ่วงจำเพาะอิมัวแห้งเท่ากับ 2.62 และค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 1.10 โดยมวลรวมละเอียด อยู่ในสภาวะอิมัวแห้ง (SSD) ก่อนผสม ซึ่งทรายแม่น้ำมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C33 [13] ดังแสดงในรูปที่ 4

ตารางที่ 2 สมบัติจำเพาะของทรายแม่น้ำ (River Sand, RS) และ หินฝุ่น (Stone Dust, SD)

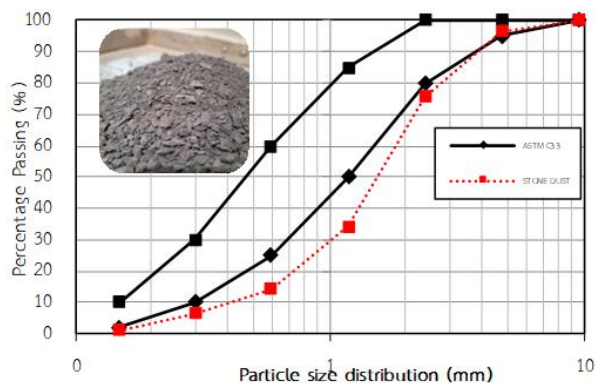
Properties	Fineness modulus	Specific gravity	Water absorption (%)	Percentage of particles passing a No. 200 sieve (%)
River Sand	2.78	2.62	1.10	-
Stone Dust	3.72	2.76	1.33	15.86



รูปที่ 4 น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงเป็นร้อยละสมของทรายแม่น้ำ (RS)

2.2.2 หินฝุ่น (Stone Dust, SD)

หินฝุ่นที่ใช้ในการศึกษาจาก โรงโม่หินปราจีนบุรีเหมืองหิน ซึ่งเป็น หินปูน (Limestone) ในจังหวัดสระแก้ว ผลการศึกษาหินฝุ่น พบว่าหิน ฝุ่นมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.72 ค่าความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวแห้ง เท่ากับ 2.76 และค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 1.33 โดยมีมวลรวมละเอียด อยู่ในสภาวะอิ่มตัวแห้ง (SSD) ในขณะที่ปริมาณส่วนละเอียดที่ผ่าน ตะแกรงเบอร์ 200 ของหินฝุ่นมีค่าเท่ากับร้อยละ 15.86 เมื่อทำการ เปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐาน ASTM C136 [15] และ มาตรฐาน ASTM C117 [16] ตามลำดับ ซึ่งได้กำหนดค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus, FM) ของหินฝุ่นยังไม่อยู่ระหว่าง 2.3-3.1 และส่วน ที่ผ่านตะแกรง เบอร์ 200 ของหินฝุ่นยังมีค่าเกินร้อยละ 3 รวมถึงกราฟการ กระจายตัวของขนาดของหินฝุ่นไม่อยู่ระหว่างขอบเขตบน-ล่างของกราฟ มาตรฐานของมวลรวมละเอียด (Fine Aggregates) ตามมาตรฐาน ASTM C33 [13] ที่ใช้ในงานคอนกรีต (รูปที่ 5) คุณสมบัติทางวิศวกรรมแสดงใน ตารางที่ 2



รูปที่ 5 น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงเป็นร้อยละสมของหินฝุ่น

2.2.3 หินธรรมชาติ (Crushed Limestone)

โดยมีขนาดใหญ่สุด 10 มม. แสดงในรูปที่ 6 มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.73 มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 6.39 และมีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0.67



รูปที่ 6 หินธรรมชาติ

2.3 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

2.3.1 กำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างเถ้าขานอ้อยบดละเอียดกับ ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก โดยนำมาทดแทนปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกในคอนกรีต อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ในขณะที่ใช้หินฝุ่นแทนทรายในอัตราส่วนร้อยละ 100 ของมวลรวมละเอียด (ตารางที่ 3) โดยค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) ที่ใช้ในการทดสอบ ของแต่ละอัตราส่วนผสม หาได้จากการทดสอบความชื้นเหลวโดยกำหนดให้ ค่าความชื้นเหลวที่ได้จากการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตล้วนเป็นตัว ควบคุม (100±20 มม.) ทั้งนี้การออกแบบสูตรผสมสามารถปรับปรุงให้ เหมาะสมได้เมื่อทำการทดสอบเบื้องต้นแล้ว

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมของคอนกรีต

Mix	Mix proportion (kg/m ³)						SP (%)	W/B	Slump (mm)
	HC	GSCBA	River sand	Stone dust	Coarse Agg.	Water			
CON	400	-	784	-	992	180	1.00	0.45	110
CON2	400	-	-	826	993	180	2.25	0.45	105
10GSCBA	360	40	-	820	984	180	2.50	0.45	102
20GSCBA	320	80	-	812	976	180	2.50	0.45	100
30GSCBA	280	120	-	804	965	180	3.00	0.45	115
40GSCBA	240	160	-	796	957	180	3.75	0.45	112

หมายเหตุ: HC หมายถึง ไฮดรอลิกซีเมนต์, GSCBA หมายถึง เถ้าขานอ้อยบดละเอียด, Stone dust หมายถึง หินฝุ่น

2.3.2 การทดสอบกำลังอัด ใช้คอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ทำการถอดแบบที่อายุ 1 วัน จากนั้นนำไปแช่น้ำตั้งแต่หลังถอดแบบจนถึงอายุที่ทดสอบ ทำการ ทดสอบที่อายุ ที่อายุ 1, 3, 7, 28 และ 90 วัน ใช้ตัวอย่างคอนกรีต 3 ตัวอย่างต่ออายุการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39 [17]

2.3.3 การทดสอบความต้านทานการขัดสีของคอนกรีต

ทดสอบโดยวิธี Rotating-Cutter Method ตามมาตรฐาน ASTM C944 [18] โดยนำตัวอย่างคอนกรีตเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร มาตัดตามขวางที่ตำแหน่งตรงกลางของแท่งตัวอย่างให้มี ขนาดความสูง 50±3 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างคอนกรีตมาขัดด้วยหัว ขัด (Dressing Wheel) โดยมีความเร็วในการขัด 200 รอบต่อนาที ภายใต้ น้ำหนักกด 98 นิวตัน เป็นเวลา 12 นาที บันทึกค่าการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากการขัดสีทุก ๆ 2 นาทีโดยทดสอบเมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 และ 90 วัน โดยค่าสูญเสียน้ำหนักจากการขัดสีใช้ 3 ตัวอย่างในการหาค่าเฉลี่ยที่แต่ละอายุทดสอบ

2.3.4 การทดสอบบดผงหิมะผิวหน้าของคอนกรีต

ทดสอบโดยจำลองสภาพการใช้งานคอนกรีตในสถานที่จริง ณ สาขา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี จ.ปทุมธานี ขนาดกว้าง 1.00 เมตร ยาว 1.00 เมตร โดยวัดค่าเฉลี่ย

3 จุด ทุก 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด โดยในการทดลองครั้งนี้ปรับค่า Emissivity (ความสามารถในการสะท้อนรังสีอินฟราเรดของวัตถุใด ๆ เมื่อวัตถุนั้น ๆ ได้รับพลังงานเข้าไปแล้ว) ไว้ที่ 0.95 ซึ่งเป็นค่า Emissivity ของคอนกรีต เพื่อตรวจสอบการดูดซับความร้อนของผิวคอนกรีตเปรียบเทียบกับพื้นผิวคอนกรีตปกติที่ผสมทราย (CON) คอนกรีตที่ใช้หินปูนแทนทราย (CON2) และคอนกรีตที่ใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ไฮดรอลิกซีเมนต์ที่ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานร่วมกับหินปูนแทนทราย (40GSCBA)

3. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

3.1 กำลังอัด และร้อยละกำลังอัดของคอนกรีต

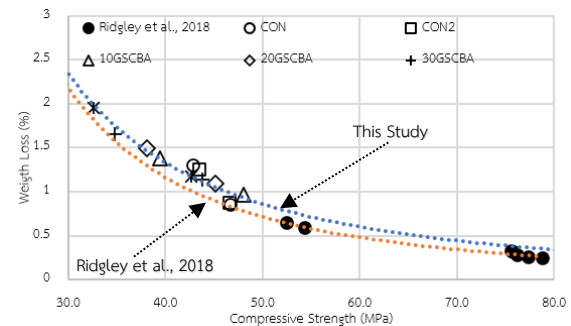
ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบกำลังอัด และร้อยละกำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 1, 3, 7, 28 และ 90 วัน โดยคอนกรีตควบคุม (CON) ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ใช้ทรายแม่น้ำ และหินปูนย่อยเป็นส่วนผสม มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 30.2, 34.6, 38.4, 42.9 และ 46.7 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ในขณะที่คอนกรีตควบคุม 2 (CON2) ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ใช้หินปูนทดแทนทราย และหินปูนย่อยเป็นส่วนผสม มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 29.8, 35.4, 39.6, 43.5 และ 46.6 เมกะปาสกาล หรือคิดเป็นร้อยละ 99, 102, 103, 101 และ 100 ตามลำดับ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการใช้หินปูนทดแทนทรายทั้งหมดไม่ส่งผลกระทบต่อผลดลของกำลังอัดของคอนกรีตสำหรับคอนกรีตที่ใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 และ 20 ของน้ำหนักวัสดุประสาน และใช้หินปูนแทนที่ทรายแม่น้ำทั้งหมด หรือคอนกรีต 10GSCBA และ 20GSCBA มีกำลังอัดใกล้เคียงกับคอนกรีต CON และ CON2 ในอายุช่วงต้น และมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับคอนกรีตควบคุม ที่อายุ 90 วัน โดยค่ากำลังอัดคอนกรีต 10GSCBA และ 20GSCBA มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 48.0 และ 45.1 เมกะปาสกาล หรือคิดเป็นร้อยละ 103 และ 97 ตามลำดับ ของคอนกรีตควบคุม (CON) เมื่อพิจารณา คอนกรีต 30GSCBA และ 40GSCBA พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลงเมื่อแทนที่เถ้าขานอ้อยในปริมาณที่สูงขึ้น โดยช่วงต้นที่อายุ 1 และ 3 วัน คอนกรีต 30GSCBA และ 40GSCBA มีกำลังอัดอยู่ในช่วงระหว่าง 18.4 ถึง 27.6 เมกะปาสกาล หรือคิดเป็นร้อยละ 61 ถึง 80 ของคอนกรีต CON เนื่องจากคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยบดละเอียด มีปริมาณของปูนซีเมนต์ลดลง ส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดในระยะต้นมีค่าน้อยกว่าคอนกรีต CON [19-20] ต่อมาเมื่อคอนกรีตมีอายุ 7 และ 28 วัน คอนกรีต 30GSCBA และ 40GSCBA มีกำลังอัดอยู่ระหว่าง 28.3 ถึง 34.8 เมกะปาสกาล หรือคิดเป็นร้อยละ 74-81 ของคอนกรีต CON ตามลำดับ และสามารถพัฒนากำลังอัดเท่ากับ 43.8 และ 42.6 เมกะปาสกาล หรือคิดเป็นร้อยละ 94 และ 91 ของคอนกรีต CONตามลำดับ ที่อายุ 90 วัน

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบกำลังอัดและร้อยละกำลังอัดของคอนกรีตควบคุม

Mixture	Compressive Strength (MPa) (Normalized compressive strength) (%)									
	1 Day	3 Days	7 Days	28 Days	90 Days	1 Day	3 Days	7 Days	28 Days	90 Days
CON	30.2	34.6	38.4	42.9	46.7	100	100	100	100	100
CON2	29.8	35.4	39.6	43.5	46.6	99	102	103	101	100
10GS CBA	24.1	32.3	36.6	39.4	48.0	80	93	95	92	103
20GS CBA	22.3	29.8	34.2	38.1	45.1	74	86	89	89	97
30GS CBA	20.6	27.6	30.4	34.8	43.8	68	80	79	81	94
40GS CBA	18.4	25.4	28.3	32.6	42.6	61	73	74	76	91

3.2 ความต้านทานการขัดสีของคอนกรีต

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีต และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากขัดสีของคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตควบคุม (CON) มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากขัดสีเฉลี่ยที่อายุ 28 และ 90 วัน เท่ากับร้อยละ 1.30 และ 0.85 ตามลำดับ ในขณะที่ คอนกรีตควบคุมที่ใช้หินปูนทดแทนทรายทั้งหมด (CON2) มีค่าการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากขัดสีเฉลี่ย เท่ากับร้อยละ 1.25 และ 0.88 ที่อายุ 28 และ 90 วัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณา คอนกรีต 10GSCBA, 20GSCBA, 30GSCBA และ 40GSCBA พบว่ามีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากขัดสีเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 1.38 ถึง 1.95 ที่อายุ 28 วัน และลดลงอยู่ระหว่าง 0.97 ถึง 1.17 เมื่อคอนกรีตมีอายุที่ 90 วัน จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากขัดสีของคอนกรีตมีค่ามากขึ้น เมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดที่น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ridgley et al., (2018) และ ตัวนอง (2562) ซึ่งศึกษาค่าความต้านทานการขัดสีของ คอนกรีต พบว่า ค่าการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากการขัดสีของคอนกรีตมีค่าลดลง เมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดสูงขึ้น [21-22]

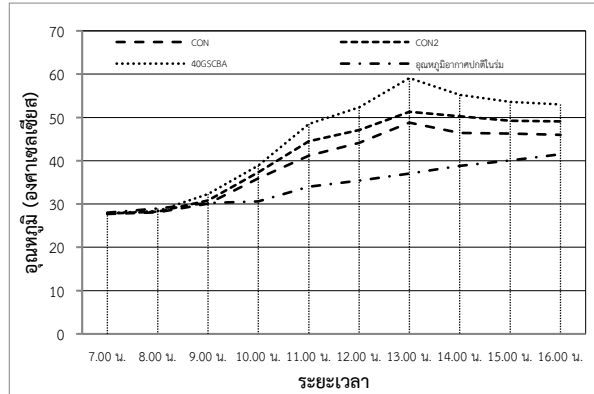


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและร้อยละการสูญเสีย น้ำหนักจากการขัดสีของคอนกรีต

3.3 อุณหภูมิผิวหน้าของคอนกรีต

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และเวลาการในการวัดอุณหภูมิผิวหน้าของคอนกรีต โดยทำการวัดอุณหภูมิผิวหน้าของคอนกรีต เมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2567 ระหว่างเวลา 7.00-16.00 นาฬิกา โดยวัดค่าเฉลี่ย 3 จุด ทุก 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิผิวหน้าของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามเวลาที่แสงแดดส่อง และเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 12.00-14.00 น. โดยคอนกรีตควบคุม (CON) มีค่าอุณหภูมิผิวหน้าของคอนกรีตเท่ากับ 48.8 องศาเซลเซียส ในขณะที่คอนกรีตควบคุมที่ใช้หินปูนทดแทนทรายทั้งหมด (CON2) มีค่าอุณหภูมิผิวหน้าของคอนกรีตเท่ากับ 51.3 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณา คอนกรีตที่ใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ไฮดรอลิกซีเมนต์ที่ร้อยละ 40 ของน้ำหนักวัสดุประสาน และใช้หินปูนแทนที่ทรายแม่น้ำทั้งหมด หรือคอนกรีต 40GSCBA พบว่ามีอุณหภูมิที่ผิวหน้าสูงกว่าคอนกรีต CON และ CON2 เท่ากับ 10.3 และ 7.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หรือคิดเป็นร้อยละ 121 และ 115 ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากการใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ ร่วมกับหินปูนแทนที่ทรายแม่น้ำทั้งหมด ทำให้เนื้อคอนกรีตแน่น ผิวหน้าของถนนเรียบเนียน และมีสีที่เข้มกว่าคอนกรีต CON และ CON2 จึงส่งผลให้ผิวหน้าถนนดูดซับความร้อนดีขึ้น เป็นไปตามทฤษฎีที่ว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง มีผิวเรียบ และมีสีเข้ม จะดูดซับความร้อนที่มากกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ และ

มีสีอ่อนกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประชุม คำพูน และ กิตติพงษ์ สุวิโร (2550) [23] ดังนั้นอุณหภูมิผิวหน้าคอนกรีตที่ใช้ที่ใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ไฮดรอลิกซีเมนต์ร่วมกับหินปูนแทนที่ทรายแม่น้ำทั้งหมดจึงสูงกว่าคอนกรีต CON และ CON2 ซึ่งข้อดีนี้สามารถนำผลการทดสอบไปประยุกต์ใช้งานกับลานตากผลผลิตทางเกษตร โดยช่วยให้ผลผลิตทางการเกษตรที่นำไปตากบนคอนกรีตประเภทนี้แห้งเร็วขึ้นได้



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการวัดอุณหภูมิผิวหน้าคอนกรีต

4. บทสรุป

1) กำลังอัด และร้อยละกำลังอัดของคอนกรีต จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการใช้หินปูนทดแทนทรายทั้งหมดไม่ส่งผลต่อการลดลงของกำลังอัดของคอนกรีต สำหรับคอนกรีตที่ใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 และ 20 ของน้ำหนักวัสดุประสาน และใช้หินปูนแทนที่ทรายแม่น้ำทั้งหมด มีกำลังอัดใกล้เคียงกับคอนกรีต CON และ CON2 ในอายุช่วงต้น และมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับคอนกรีตควบคุม ที่อายุ 90 วัน

2) เมื่อพิจารณาคอนกรีต 30GSCBA และ 40GSCBA พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลงเมื่อแทนที่เถ้าขานอ้อยในปริมาณที่สูงขึ้น โดยช่วงต้นที่อายุ 1 และ 3 วัน มีกำลังอัดอยู่ในช่วงระหว่าง 18.4 ถึง 27.6 เมกะปาสคาล หรือคิดเป็นร้อยละ 61 ถึง 80 ของคอนกรีต CON เนื่องจากคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยบดละเอียด มีปริมาณของปูนซีเมนต์ลดลงส่งผลให้การพัฒนาดังกล่าวในระยะต้นมีค่าน้อยกว่าคอนกรีต CON

3) ความต้านทานการซึ่ของคอนกรีต ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากซึ่ของคอนกรีตมีค่ามากขึ้น เมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดที่น้อยลง ซึ่งค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการซึ่ของคอนกรีตมีค่าลดลง เมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดสูงขึ้น

4) คอนกรีต 40GSCBA มีอุณหภูมิผิวหน้าสูงกว่าคอนกรีต CON และ CON2 เท่ากับ 10.3 และ 7.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หรือคิดเป็นร้อยละ 121 และ 115 ตามลำดับ สามารถลดระยะเวลาในการตากพืชผลทางเกษตรให้น้อยลงจากความชื้นของสคอนกรีต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) : ด้านนิเวศและมลพิษในภาคอุตสาหกรรม ปีงบประมาณ: 2567 สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) เรื่อง การใช้หินปูนและเถ้าขานอ้อยที่เป็นของเสียเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ผลิตเป็นคอนกรีตผสมเสร็จเพื่อทดแทนการใช้ทรายธรรมชาติ

และปูนซีเมนต์ สำหรับใช้ในงานถนนคอนกรีตและลานคอนกรีตสำหรับตากผลผลิตทางการเกษตร สัญญาเลขที่ N81A670574

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2555) ,ข้าว. สืบค้น 5 มกราคม 2567.
- [2] สถาบันอาหาร. (2558). มาตรฐานเรื่องผลิตภัณฑ์เมล็ดข้าว. สืบค้น 16 พฤษภาคม 2567
- [3] Singh, N.B., Singh, V.D. and Rai, S. (2000). Hydration of Bagasse Ash-Blended Portland Cement. *Cement and Concrete Research*, 30(9), pp.1485–1488.
- [4] Ganesan, K., Rajagopal, K. and Thangavel, K. (2007). Evaluation of Bagasse Ash as Supplementary Cementitious Material. *Cement and Concrete Composites*, 29(6), pp. 515–524.
- [5] Cordeiro, G.C., Toledo Filho, R.D., Tavares, L.M. and Fairbairn, E.D.M.R. (2009). Ultrafine Grinding of Sugar Cane Bagasse Ash for Application as Pozzolanic Admixture in Concrete. *Cement and Concrete Research*, 39(2), pp.110–115.
- [6] Rajasekar, A., Arunachalam, K., Kottaisamy, M. and Saraswathy, V. (2018). Durability Characteristics of Ultra High Strength Concrete with Treated Sugarcane Bagasse Ash. *Construction and Building Materials*, 171, pp.350–356.
- [7] Zareei, S.A., Ameri, F. and Bahrami, N. (2018). Microstructure, Strength, and Durability of Eco-Friendly Concretes Containing Sugarcane Bagasse Ash. *Construction and Building Materials*, 184, pp.258–268.
- [8] Gonçalves, J.P., L.M. Tavares, R.D.T. Filho, E.M.R. Fairbairn and E. R. Cunha. (2007). Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars. *Cement and Concrete Research*, 37, pp.924–932.
- [9] Cortes, D.D., Kim, H.K., Palomino, A.M. and Santamarina, J.C. (2008). Rheological and mechanical properties of mortars prepared with natural and manufactured sands. *Cement and Concrete Research*, 38, pp.1142–1147.
- [10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2594-2556 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [11] American Society for Testing and Materials. (2008). *ASTM C1157 Standard Performance Specification for Hydraulic Cement*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [12] American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM C618 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, United States.
- [13] American Society for Testing and Materials. (2018). *ASTM C33 Standard specification for concrete aggregates*. ASTM

- International, West Conshohocken, Philadelphia, United States.
- [14] American Society for Testing and Materials. (2015). *ASTM C128 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, United States.
- [15] American Society for Testing and Materials. (2001). *ASTM C 136 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates*. ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, United States.
- [16] American Society for Testing and Materials. (1995). *ASTM C 117 Standard test method for materials finer than 75 - μ m (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing*. ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, United States.
- [17] American Society for Testing and Materials. (2018). *ASTM C3 9 / C3 9 M. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, United States.
- [18] American Society for Testing and Materials. (2012). *ASTM C944 Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method*. ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, United States.
- [19] Ul Islam, M.M., Mo, K.H., Alengaram, U.J. and Jumaat, M.Z. (2016). Durability Properties of Sustainable Concrete Containing High Volume Palm Oil Waste Materials. *Journal of Cleaner Production*, 137, pp. 167-177.
- [20] Men, S., Tangchirapat, W., Jaturapitakkul, C., and Ban, C. C. (2022). Strength, fluid transport and microstructure of high-strength concrete incorporating high-volume ground palm oil fuel ash blended with fly ash and limestone powder. *Journal of Building Engineering*, 56, pp. 104714.
- [21] Ridgley, K.E., Abouhussien, A.A., Hassan, A.A. and Colbourne, B. (2018). Assessing abrasion performance of self-consolidating concrete containing synthetic fibers using acoustic emission analysis. *Materials and Structures*, 51, pp.1-17.
- [22] ลีตีพงศ์ ต่วนทอง. (2562). ความต้านทานการขัดสีและการซึมของคลอไรด์ผ่านคอนกรีตที่ทาผิวหน้า ด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*, ปีที่ 42, ฉบับที่ 1, หน้า 55-68
- [23] ประชุม คำพูน และ กิตติพงษ์ สุวิโร (2550). การเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับใช้ออกแบบวัสดุปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ. *วารสารวิทยาการจัดการบริหารศรัณ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา*, ปีที่ 10, ฉบับที่ 10, หน้า 64-71.