ประสิทธิภาพการผลิตของผลิตภัณฑ์อิฐมวลเบาจากส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาล

Manufacturing Efficiency of Autoclaved Aerated Concrete Products from Sugar Sediment Mixture

กรกฎ เพ็ชร์หัสณะโยธิน สุธน เสถียรยานนท์
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร
สมบัติ ทีฆทรัพย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอิสเทิร์นเอเชีย จ.ปทุมธานี
โยธิน อึ่งกูล
สาขาการจัดการอุตสาหกรรม และเทคโนโลยี ภาควิชาวิทยาศาสตรประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร อีเมล์ : yothinu@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมกากตะกอนน้ำตาล (AAC - SS) จากจังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดสิงห์บุรี ซึ่งได้แก่ ความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงดัด ความหนาแน่น และอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาโดยมีกากตะกอนน้ำตาลซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้มาเป็นส่วนผสมเพื่อแทนที่ทรายที่ผ่านการบดความละเอียด ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ ผลการศึกษาทดสอบพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดสิงห์บุรี มีส่วนช่วยให้ความต้านทานแรงอัดและแรงดัดเพิ่มมากขึ้นแต่มีค่าความหนาแน่นลดลง ผลการทดสอบกับค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.1505-2541 สัดส่วนผสมแทนที่ทราย 15%, 20% และ 25% ผ่านเกณฑ์ โดยจัดอยู่ในชั้นคุณภาพ 4 ชนิด 0.6

คำสำคัญ : คอนกรีตมวลเบาแบบผสมตะกอนน้ำตาลแบบอบไอน้ำ (AAC - SS), ความต้านทานแรงอัด, กากตะกอนน้ำตาล

Abstract

This research related to the investigation of mechanical properties of Autoclaved Aerated Concrete Containing Sugar Sediments (AAC-SS), i.e. compressive strength, density, water absorption and flexural strength. Specimens made from sugar sediments application from Suphanburi and Singburi province instead of sand application in Autoclaved Aerated Concrete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(AAC). The results show that, with the same quantity of Sugar Sediments from Suphanburi and Singburi province, specimens have higher compressive strength and flexural strength, but density decreases. Properties of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Containing Sugar Sediments, based on the Thai Industrial Standard 1505-1998, specimens in the proportion 15, 20 and 25 percent were classified in AAC class 4 types 0.6

Keywords : Autoclaved Aerated Concrete Containing Sugar Sediments (AAC-SS), Compressive strength, Sugar Sediments.

1. บทนำ

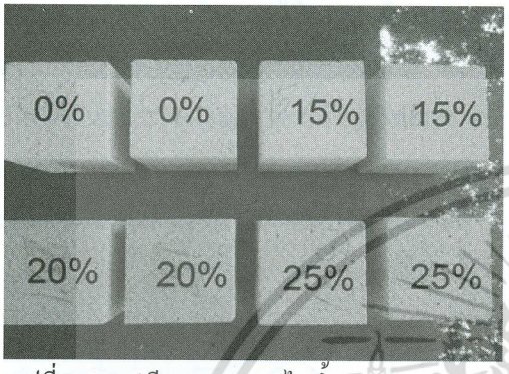
ปัญหามลพิษที่เกิดจากการขยายตัวของเมืองและภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยได้แก่ มลพิษทางเสียง น้ำ อากาศ ขยะมูลฝอยหรือเศษวัสดุก่อสร้างและขยะสิ่งที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรม จากปัญหาดังกล่าวมีผลต่อสภาพแวดล้อมก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจกทำให้โลกร้อน จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมและภาคการเกษตร โดย บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา และคณะ [1]–[3] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์และผสมเส้นใยของผักตบชวา เพื่อเป็นส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำที่ผสมเส้นใยดังกล่าวมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย ซิลิกาและแคลเซียมออกไซด์เช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ แต่มีน้ำหนักเบา จึงได้ทดลองนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละต่าง ๆ และเทียบค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 1505-2541 ผลการทดสอบพบว่าสัดส่วนผสมแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 2.5 ผ่านเกณฑ์ ต่อมาโยธิน อึ่งกูล [4] ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำแบบผสมตะกอนน้ำตาล สำหรับกากตะกอนน้ำตาล ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้มาเป็นส่วนผสมเพื่อแทนที่ทรายที่ผ่านการบดความละเอียด ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ ผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนผสมแทนที่ทรายร้อยละ 20 เป็นอัตราส่วนเหมาะสมมีส่วนช่วยให้ความต้านทานแรงอัดเพิ่มมากขึ้น และค่าความหนาแน่นลดลง ได้ค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.1505-2541 และจัดอยู่ในระดับชั้นคุณภาพ 4 ชนิด 0.7

รูปที่ 1 ตะกอนน้ำตาลที่ใช้ในการแทนที่ทราย

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยพัฒนาต่อเนื่องของโยธิน อึ่งกูล [4] และ Ungkoon และคณะ [5]-[6] วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมกากตะกอนน้ำตาล เช่น องค์ประกอบทางเคมี สัดส่วนที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

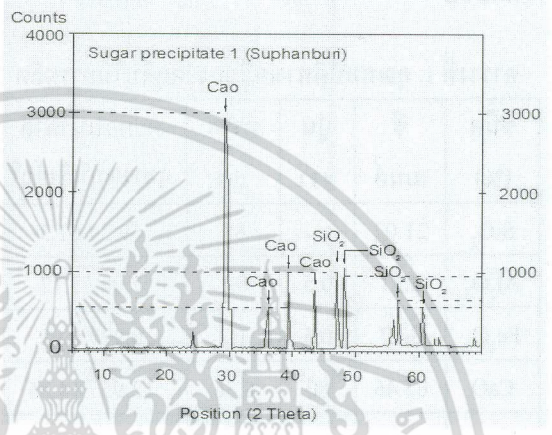
อุตสาหกรรม มอก.1505-2541 [7] และต้นทุนการผลิตของกากตะกอนที่มาจากแหล่งผลิตโรงงานน้ำตาลมิตรผลจังหวัดสุพรรณบุรีกับโรงงานผลิตน้ำตาลจังหวัดสิงห์บุรี



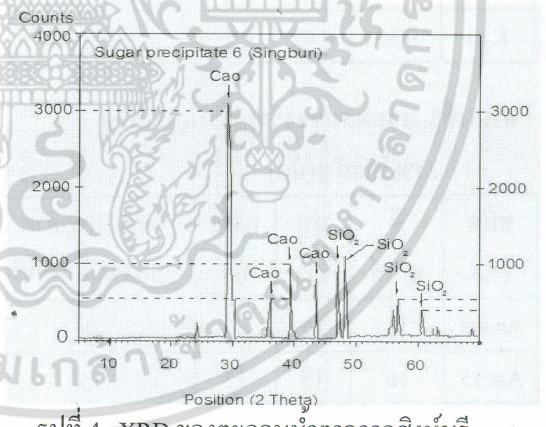
รูปที่ 2 คอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมตะกอนน้ำตาล

2. วัสดุ อุปกรณ์ และการทดลอง

การผลิตคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำทั่วไปและคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมตะกอนน้ำตาลจะมีกระบวนการผลิตในลักษณะเดียวกัน ที่แรงดัน 12 บาร์ อุณหภูมิ 180-190 °C โดยวัตถุดิบตะกอนน้ำตาลที่นำมาใช้ในการทดลองจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลโดยวิธี X-ray Diffractrometer หรือ XRD จากตะกอนน้ำตาลทั้งสองแหล่งผลที่ได้คือ จากแหล่งสุพรรณบุรีมีองค์ประกอบของ Calcite (ผลึกของปูนขาว) น้อยกว่าสิงห์บุรี โดย Peak ที่แสดงคุณสมบัติของ CaO ของสุพรรณบุรี Intensity จะต่ำกว่าของสิงห์บุรี นั่นแสดงว่ามีปริมาณ CaO ที่น้อยกว่าสิงห์บุรี และจาก Peak ที่แสดงคุณสมบัติของ SiO_2 ของสิงห์บุรีที่มีต่ำกว่าสุพรรณบุรีแต่จะมีผลึกที่เป็นอนุพันธ์ของ silicate เกิดขึ้นซึ่งดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 แต่ทั้ง 2 กลุ่มจะมีองค์ประกอบหลักเดียวกันคือ Calcite ส่วน Calcium carbonate จะมีปะปนบ้างเหมือนอนุพันธ์ของ Silicate ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 1 ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ปูนขาว แร่แอนไฮดราย ทรายบดละเอียดขนาด 63 – 90 ไมครอนมากกว่า 85%



รูปที่ 3 XRD ของตะกอนน้ำตาลจากสุพรรณบุรี



รูปที่ 4 XRD ของตะกอนน้ำตาลจากสิงห์บุรี

และกากตะกอนน้ำตาลขนาดความละเอียด 50 – 70 ไมครอนจากทั้งสองแหล่ง ตะกอนน้ำตาลจากสุพรรณบุรี และสิงห์บุรีนำมาแทนที่ทรายบดละเอียดเปรียบเทียบส่วนผสมของวัตถุดิบได้ตามตารางที่ 2 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบทางกลตามมาตรฐานขนาดแม่พิมพ์ 20x20x100cm. นำไปอบด้วยไอน้ำที่แรงดันสูง และตัดเป็นชิ้นงานขนาด 7.5x7.5x7.5cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีอัตราส่วนผสมแทนที่ทรายที่ 0%, 15%, 20% และ 25% ของตะกอนน้ำตาลโดยน้ำหนักตามลำดับ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในแต่ละสัดส่วนมี 3 ชุด การทดสอบชุดละ 3 ตัวอย่างรวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง โดยผลที่แสดงเป็นผลจากการเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดสอบ

ตารางที่ 1. คุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบในการผลิต

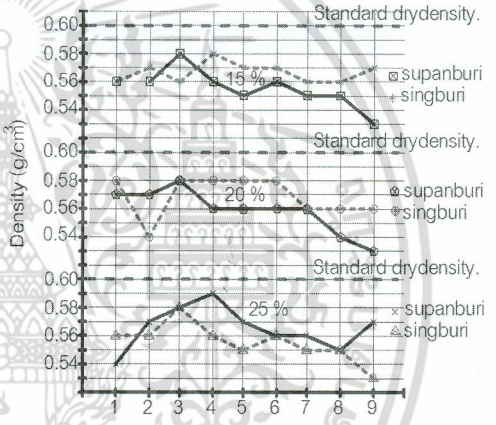
ชนิด (%)	ซีเมนต์	ปูนขาว	ทรายบด	ตะกอนน้ำตาล สุพรรณบุรี/สิงห์บุรี
SiO_2	21.02	-	85	69.2 / 67.3
Al_2O_3	5.21	0.5	6.1	7.08 / 7.12
Fe_2O_3	3.17	0.5	1.2	0.92 / 0.91
CaO	65.46	80	0.36	12.95 / 14.85
MgO	3.14	1	0.85	0.12 / 0.11
Na_2O	0.14	0.2	1	0.9 / 0.85
K_2O	0.83	0.42	1	1.2 / 1.2

ตารางที่2. ส่วนผสมของวัตถุดิบในการผลิต (%โดยน้ำหนัก)

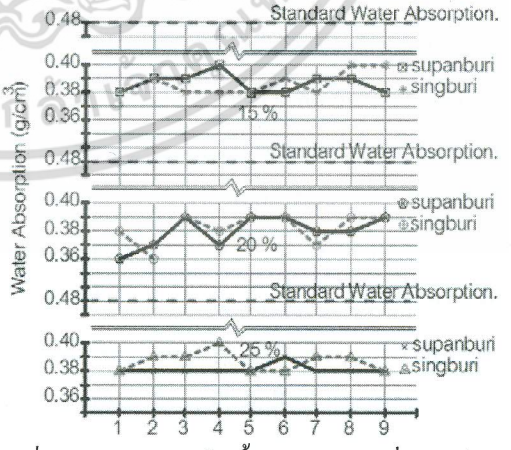
ชนิด (%)	ซีเมนต์	ปูนขาว	ทรายบด	ตะกอนน้ำตาล สุพรรณบุรี/สิงห์บุรี
Aac00	16	15	67	0
Aac15	16	15	52	15
Aac20	16	15	47	20
Aac25	16	15	42	25

3. ผลการทดลอง

ผลการศึกษา ที่ส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาล 20% จะมีอัตราการดูดกลืนน้ำจากสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากขนาดของตะกอนน้ำตาลทั้งสองแหล่งมีขนาดที่ใกล้เคียงกันตามรูปที่ 5 โดยที่สัดส่วน 25% จากแหล่งสุพรรณบุรีจะมีอัตราการดูดกลืนน้ำต่ำกว่าสัดส่วนอื่น ๆ เนื่องจากที่ส่วนผสม 25% มีปริมาณตะกอนน้ำตาลมากที่สุด ซึ่งขนาดของตะกอนน้ำตาลที่เล็กกว่าขนาดของทรายบด หลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยแรงดัน 12 บาร์ อุณหภูมิ180-190 °C เกิดการเปลี่ยนวัตถุมูลฐานเป็นผลึกคลิสตัลของแคลเซียมซิลิเกต ช่องว่างระหว่างผลึกจึงมีน้อย ทำให้การดูดซึมน้ำได้น้อยลง จากผลการทดสอบสัดส่วน 15%, 20% และ 25% มีอัตราการดูดกลืนน้ำต่ำกว่าสัดส่วน 0%

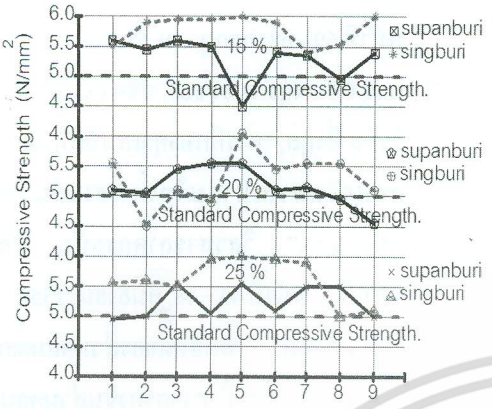


รูปที่ 5 ความความหนาแน่นของการแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาล ที่ 0%, 15%, 20% และ25%

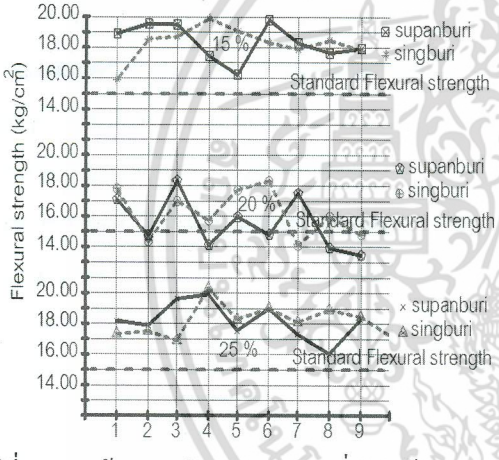


รูปที่ 6 อัตราการดูดกลืนน้ำของการแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาล ที่ 0%, 15%, 20% และ25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 ความต้านแรงอัดของการแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาล ที่ 0%, 15%, 20% และ25%



รูปที่ 8 ความต้านแรงดัดของการแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาล ที่ 0%, 15%, 20% และ25%

เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นของผลึกสูงจะมีตะกอนน้ำตาลกระจายตัวได้ทั่วถึง เนื่องจากฟองอากาศมีขนาดเล็กและมีจำนวนน้อย ในขณะที่คอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นของผลึกต่ำกว่า จะมีฟองอากาศใหญ่และจำนวนมาก จึงทำให้ตะกอนน้ำตาลกระจายตัวได้ไม่ทั่วถึง อัตราการดูดซึมน้ำจึงมีเพิ่มมากขึ้น สำหรับค่าความหนาแน่นของการแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาล ที่ 15%, 20% และ 25% จากรูปที่ 6 มีความหนาแน่นต่ำกว่า 0%, ในทุกสัดส่วนการแทนที่ทรายเนื่องจากตะกอนน้ำตาลทั้งสองแหล่งมีน้ำหนักเบากว่าทราย เมื่อมีการแทนที่ทรายมากขึ้นความหนาแน่นจึงลดลง ในลักษณะแปรผกผันกับปริมาณตะกอนที่เพิ่มมากขึ้น ผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรี 15%,20% และ 25% มีความต้านทานแรงอัดสูงกว่า 0%, 15%, 20%และ 25% จากจังหวัดสุพรรณบุรีจากรูปที่ 7 เนื่องจากมีสัดส่วนของแคลเซียมต่อซิลิกอนมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณแคลเซียมมากขึ้นแต่ค่าซิลิกอนลดลงซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนน้ำตาลที่มีแคลเซียมออกไซด์เจือปนอยู่ โดยเฉพาะตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรี มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์สูงกว่าตะกอนน้ำตาลจากสุพรรณบุรี ทำให้ค่า Ca/Si ratio สูงกว่า การเกิดผลึกมีความสมบูรณ์มากกว่า คือ11Å-tobermorite จะกลายเป็น 9Å-tobermorite (8) ทำให้โครงสร้างผลึกมีความละเอียดสูง การถักทอเป็นเส้นใยค่อนข้างหนาแน่น และมีโครงสร้างผลึกที่ละเอียดที่สุดจึงให้ผลต่อการรับกำลังอัดได้ดีที่สุด ส่วนการรับกำลังดัด จากรูปที่ 8 ผลที่เกิดขึ้นจากการแทนที่ด้วยตะกอนน้ำตาลทั้งสองแหล่งจะได้ใกล้เคียงกัน คือให้ผลที่สูงกว่าการแทนที่ด้วยทราย 0% นั้นเพราะการจัดเรียงตัวของผลึก Tobermorite จะเรียงในลักษณะซ้อนเป็นชั้นๆ จึงแสดงผลที่แตกต่างของแรงดัดไม่ชัดเจนระหว่างตะกอนน้ำตาลทั้งสองแหล่ง

4. สรุป

ผลการศึกษา พบว่าคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำที่มีส่วนผสมตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรี 15%, 20% และ 25% มีความต้านทานแรงอัดและแรงดัดสูงกว่า 0%, 15%, 20% และ 25% จากจังหวัดสุพรรณบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรี มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์สูงกว่าตะกอนน้ำตาลจากสุพรรณบุรี ทำให้ค่า Ca/Si ratio สูงกว่าการเกิดผลึกมีความสมบูรณ์มากกว่า คือ 11Å-tobermorite จะกลายเป็น 9Å-tobermorite[1] ทำให้โครงสร้างผลึกมีความละเอียดสูง การถักทอเป็นเส้นใยค่อนข้างหนาแน่น และมีโครงสร้างผลึกที่ละเอียดที่สุดจึงให้ผลต่อการรับกำลังอัดและแรงดัดได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบการแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาลที่สัดส่วน 15% 20% และ 25% จากจังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดสิงห์บุรี ผลการทดสอบพบว่าคุณสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 1505 -2541 ผ่านเกณฑ์ จัดอยู่ในชั้นคุณภาพ G4 ชนิด 0.6 นอกจากนี้การแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาลยังช่วยในการลดการใช้พลังงานในการบดทรายและเพิ่มมูลค่าในการใช้ซ้ำวัตถุดิบจากภาคอุตสาหกรรม สำหรับค่าความหนาแน่นที่ลดลงจากการแทนที่ทรายบดละเอียดด้วยตะกอนน้ำตาลยังเป็นการเพิ่มปริมาณความสามารถในการขนส่งสินค้าได้เพิ่มมากขึ้นมากกว่า 8-10 เปอร์เซ็นต์

5. เอกสารอ้างอิง

[1] บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา, ปรีดา จันทวงษ์ และโยธิน อึ่งกูล, "การศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์," วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 21, ฉบับที่ 2, หน้าที่ 266 - 271, พฤษภาคม – สิงหาคม, 2554.

[2] บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา, ปรีดา จันทวงษ์ และโยธิน อึ่งกูล, "การศึกษาคุณสมบัติทางกลของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำแบบผสมไมโครไฟเบอร์," วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง, ปีที่ 19, ฉบับที่2, หน้าที่ 59 - 68, กรกฎาคม-ธันวาคม, 2554.

[3] บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา, ปรีดา จันทวงษ์ และโยธิน อึ่งกูล, "การศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำผสมเส้นใยของผักตบชวา," วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 29, ฉบับที่ 1, หน้าที่ 43 - 48, กันยายน, 2554.

[4] โยธิน อึ่งกูล, "อิทธิพลของส่วนผสมตะกอนน้ำตาลต่อคุณสมบัติทางกลของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ," วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 28, ฉบับที่3, หน้าที่ 55 - 60, กันยายน, 2554.

[5] Y. Ungkoon, C. Sittipunt, P. Namprakai, W. Jetipattaranat, Kim, K.S., and T. Charinpanitkul, "Analysis of Microstructure and Property of Autoclave Aereted Concrete Wall Construction Material," Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Vol.13, No.7, pp. 1103 –1108, Dec., 2007.

[6] Y. Ungkoon, "Study Nano Concrete of Autoclave Aereted Reinforce Lightweight Panels," Journal of Applied Science, Vol. 10, No. 1., pp. 95-105, Jan., 2011.

[7] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, มอก.1505–2541, สำนักงาน มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

[8] J.S. Dolado, M. Griebel, J. Hamaekers, "A Molecular Dynamics Study of Cementitious Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) Gels," 2007. (online)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้