

สมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตมวลเบา
ชนิดเซลลูลาร์ผสมเศษแก้วบดละเอียด

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF
CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE MIXED
WITH FINELY GROUND GLASS

ณัฐ มากุล^{1*}, ประภาศิต โสไกร² และ วรเทพ พิมสabay³

^{1, 2, 3}สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10220

Natt Makul^{1*}, Prakasit Sokrai² and Worathep Pimsabai³

^{1, 2, 3}Department of Civil Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, Thailand, 10220

*E-mail: shinomomo7@gmail.com

Received: 2017-08-25

Revised: 2017-10-19

Accepted: 2017-11-24

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นประกอบไปด้วย องค์ประกอบเคมี และสมบัติทางกายภาพของเศษแก้วบดละเอียดในการนำมาใช้แทนที่ในมวลรวมละเอียด (ทรายแม่น้ำ) ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูลาร์ เพื่อประเมินผลกระทบของเศษแก้วบดละเอียด ต่อสมบัติเชิงกายภาพและทางกล โดยกำหนดค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 900 และ 1,100 กิโลกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูลาร์หลังจากผสมเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยน้ำหนักที่ได้ออกแบบไว้ต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การออกแบบส่วนผสมโดยการนำเศษแก้วบดละเอียดแทนที่ทรายแม่น้ำโดยน้ำหนักที่อัตราส่วน ร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 สัดส่วนวัสดุผงต่อทรายเท่ากับ 1:1 อัตราส่วนสารก่อฟองโฟมต่อน้ำเท่ากับ 1:30 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.5 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ สมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูลาร์ได้แก่ หน่วยน้ำหนัก การไหลแผ่ ระยะเวลา การก่อตัว สมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูลาร์ได้แก่ กำลังอัด จากผลการทดสอบ

พบว่าเศษแก้วบดละเอียด พบว่ามีซิลิคอนออกไซด์ (SiO_2) เป็นธาตุองค์ประกอบหลักและมีโครงสร้างทางผลึกที่แตกต่างกัน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 85.20 ไมโครเมตร โดยเมื่อเศษแก้วบดละเอียดมาเข้าร่วมในงานผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ส่งผลทำให้ความสามารถในการไหลแผ่ดีขึ้น ระยะการก่อตัวลดลง โดยกำลังอัดเป็นไปข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2601-2556 (คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ)

คำสำคัญ: คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์, เศษแก้วบดละเอียด, กำลังอัด

ABSTRACT

The objective of this research was to study the basic properties including of chemical compositions and physical properties of finely ground glass used to replacement of fine aggregate (river sand) for producing the cellular lightweight concrete. The physical and mechanical properties of cellular lightweight concrete were investigated. The mixtures were kept the density of the cellular lightweight concrete at 900 and 1,100 kg/m^3 . Acceptable variable between the designated and measured density has been fixed as $\pm 50 \text{ kg/m}^3$. The mix design was used finely ground glass replacing river sand at ratios of 0, 20, 40 and 60 wt.%. The total powder to sand ratio was 1:1, foaming agent was diluted with water at a mass ratio of 1:30 and a mass ratio of water to powder of 0.5 was used for all mixtures. The tested properties included the basic properties of materials, fresh properties were the unit weight in fresh state, slump flow, and setting times, the mechanical property was the compressive strength. The test results indicated that the finely ground glass has a main chemical composition is silicon dioxide (SiO_2). The average particle size equals to 85.20 Micrometers. Used of finely ground glass for producing the cellular lightweight concrete can increased the workability and reduce the setting time period. The compressive strength and water absorption satisfied in according with the Thailand Industrial Standard TIS-2601-2556 (Cellular Lightweight Concrete).

Keywords: Cellular lightweight concrete, Finely ground glass, Compressive Strength

บทนำและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันธุรกิจภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างของประเทศไทยได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว มีการนำนวัตกรรมและวัสดุก่อสร้างรูปแบบใหม่ๆจากต่างประเทศเข้ามาใช้และจำหน่ายกันมากมาย ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา คอนกรีตมวลเบาผสมโฟมหรือคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูลาร์ (Cellular Lightweight Concrete) เป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่ง กำลังเป็นที่นิยมในการก่อสร้างอย่างกว้างขวาง เช่น การก่อสร้างผนังอาคารบ้านเรือน โรงแรม โรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงธุรกิจบ้านจัดสรร เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษ คือ มีน้ำหนักเบา ขนถ่ายสะดวก ขนาดก้อนใหญ่สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว กันเสียงรบกวน การนำความร้อนต่ำส่งผลช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน และลดต้นทุนในการก่อสร้าง คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์จึงเป็นที่รู้จักและมีอัตราการเติบโตในตลาดค่อนข้างสูง มีแนวโน้มในการนำมาใช้ทดแทนอิฐมวลเบาหรือคอนกรีตบล็อกเพิ่มมากขึ้น (Kongsomsaksiri, 2004) รวมถึงยังมีคุณสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบบ่มด้วยไอน้ำ อาทิ ต้นทุนการผลิตจะประหยัดกว่า ทำงานร่วมกับปูนก่อฉาบทั่วไปได้ และป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดีกว่า (Kingko, 2010) โดยทั่วไปแล้วส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete) มักใช้มวลรวมน้ำหนักเบาเป็นส่วนผสม (Lightweight Aggregate Concrete) ในคอนกรีต ซึ่งประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) และน้ำ หรืออาจจะมีสารเคมีผสมเพิ่มเพื่อช่วยให้ความสามารถทำงานได้ (Workability) ของคอนกรีตดีขึ้น ดังนั้นแนวคิดในการใส่มวลรวมที่มีน้ำหนักเบาเข้าไปแทนที่มวลรวมไม่ว่าจะเป็น การแทนที่มวลรวมหยาบหรือมวลรวมละเอียดทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับรูปร่าง (Geometry) และลักษณะของวัสดุสามารถทำได้ทั้งสิ้น โดยวัสดุที่มีน้ำหนักเบาส่วนใหญ่ที่นำมาใช้มักได้มาจากธรรมชาติ หรือจากการผลิตขึ้นโดยตรงจากอุตสาหกรรม รวมทั้งผลผลิตพลอยได้จากอุตสาหกรรมอื่น ๆ ในขณะที่ยังมีคอนกรีตมวลเบาอีกระบบหนึ่งที่มีการพัฒนาและนิยมนำมาใช้มากขึ้น ซึ่งเป็นที่ทราบกันในปัจจุบัน ได้แก่ คอนกรีตระบบฟองอากาศ ซึ่งแบ่งตามประเภทการผลิต ได้แก่ระบบคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำ (Autoclaved Aerated Concrete, AAC) และระบบคอนกรีตมวลเบาแบบไม่อบไอน้ำ (Non-Autoclaved Aerated Concrete, NAAC) หรือที่เรียกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ (Cellular Lightweight Concrete) และภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เทคโนโลยีนี้ได้แพร่ขยายอย่างรวดเร็วในทวีปยุโรปและสหภาพโซเวียต โดยการประยุกต์สำหรับใช้ทำชิ้นส่วนของแผ่นโครงสร้าง หลังจากนั้นสหรัฐอเมริกาเริ่มใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ในการก่อสร้างแผ่นพื้น หลังคา เสา และชิ้นส่วนผนังต่างๆ (Rattanamongtip, 2010) จากข้อจำกัดของคอนกรีตมวลเบาแบบ Autoclaved Aerated Concrete (AAC) ซึ่งต้องมีกระบวนการผลิตที่ผ่านการอบด้วยไอน้ำความดันสูง ดังนั้นจะมีข้อจำกัดในเรื่องราคา และการขนส่ง อีกทั้งเกิดความยุ่งยากในกรณีต้องการให้ผลิตออกมาเป็นรูปร่าง (Shape) ขนาด (Dimension) ตามที่ต้องการ (Made to Order) ดังนั้นคอนกรีตมวลเบาแบบ Cellular Lightweight Concrete (CLC) จึงมีความสะดวกมากกว่า

เพราะในคุณสมบัติที่เหมือนกัน กรรมวิธีในการผลิตใกล้เคียงกับการผลิตคอนกรีตธรรมดา ดังนั้นสามารถแก้ปัญหาเรื่องราคา และการนำไปใช้หล่อเพื่อให้ได้รูปร่างผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการได้ง่ายกว่าเพื่อเป็นการลดปัญหาให้กับโรงงานกำจัดเศษแก้วและลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม จึงมีแนวคิดในการนำเศษแก้วมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้างหรือผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง เพื่อเป็นการจัดการของเสียอย่างยั่งยืนและสามารถนำไปสู่การจัดการของเสียแบบครบวงจร ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพัฒนาในการนำเศษแก้วมาทำการบดและใช้เป็นวัสดุร่วมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ อันเป็นการสร้างองค์ความรู้เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ในภาคอุตสาหกรรม

คอนกรีตที่ใช้โฟมเป็นส่วนผสมหรือคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ (Cellular Lightweight Concrete) เป็นคอนกรีตที่เกิดจากการนำฟองอากาศที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและคงรูป (Performed Stable Form) ผสมในคอนกรีตประมาณร้อยละ 0.1- 0.3 ต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์ โดยการผสมน้ำยาสร้าง ฟองโฟม (Foaming Agent) เข้ากับน้ำแล้วทำการกระตุ้นน้ำยาดังกล่าวด้วยแรงดันลมในภาชนะทนแรงดัน ปั่นจนเกิดฟองที่มีเนื้อละเอียดแล้วจึงนำไปผสมกับปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำที่ผสมเข้ากันไว้แล้ว ซึ่งโครงสร้างของฟองดังกล่าวจะสามารถคงตัวอยู่ได้หรือมีเสถียรภาพเพียงพอ นั่นคือต้องไม่สูญเสียโพรงอากาศในเนื้อคอนกรีตระหว่างที่มีการผสม การขนย้าย การเทเข้าแบบ ตลอดจนกระทั่งคอนกรีตแข็งตัวเรียบร้อยแล้ว

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติเบื้องต้นของเศษแก้วบดละเอียด
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของเศษแก้วบดละเอียดจากการแทนที่มวลรวมละเอียด (ทรายแม่น้ำ) ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ต่อสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล

ระเบียบวิธีวิจัย

สมมุติฐานของการศึกษา

การใช้เศษแก้วบดละเอียดแทนที่มวลรวมละเอียด (ทรายแม่น้ำ) ในปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ส่งผลให้สมบัติต่างๆ ของคอนกรีตมวลเบาในระบบเซลลูลาร์ได้แก่ กำลังอัด เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ประโยชน์ตามสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ในด้านงานวิศวกรรม

ขอบเขตการศึกษา

1. เศษแก้วบดละเอียดที่ใช้จากจังหวัดปทุมธานี
2. ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก.15

3. อัตราส่วนของคอนกรีตมวลเบาประกอบไปด้วย ปริมาณเศษแก้วบดละเอียดแทนที่ทรายแม่น้ำโดยน้ำหนักที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 สัดส่วนวัสดุผงต่อทรายเท่ากับ 1 : 1 อัตราส่วนสารก่อฟองโฟมต่อน้ำเท่ากับ 1 : 30 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.5 โดยน้ำหนัก

4. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเศษแก้วบดละเอียดประกอบด้วยการประกอบเคมี (Chemical Composition) และการกระจายขนาดคละของอนุภาค (Particle Size Distribution, PSD)

5. ศึกษาสมบัติเชิงกายภาพสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ ได้แก่ หน่วยน้ำหนัก การไหลแผ่ ระยะเวลาการก่อตัวและการดูดซึม สมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ได้แก่ กำลังอัด

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. ปูนซีเมนต์ (Cement) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 และมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.15 เล่ม 1-2547

2. เศษแก้วบดละเอียดที่ใช้ในการวิจัยเป็นของเศษเสีย จากจังหวัดปทุมธานี นำมาทำการบดด้วยเครื่องบดลอสแอนเจลิส (Los Angeles grinding machine) ด้วยความเร็วรอบ 33 รอบต่อนาที (rpm)

3. ทรายละเอียด (Fine Aggregate) ใช้ทรายที่มีขนาดใหญ่สุดประมาณ 4.75 มิลลิเมตร โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะในสภาพอิ่มน้ำผิวแห้งเท่ากับ 2.50 และมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.59 มีค่าการกระจายตัวตามมาตรฐาน ASTM C 33

4. น้ำผสมคอนกรีต (Water) ใช้น้ำสะอาดมีความขุ่นไม่เกิน 2,000 ส่วนในล้านส่วน (part per million, ppm) ปราศจากกรด ด่าง น้ำมัน และอินทรีย์สารอื่นๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต

5. น้ำยาก่อฟองโฟมจากโปรตีน (Hydrolyzed Protein Foaming Agent) ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:30

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ กำหนดหน่วยน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์เท่ากับ 900 และ 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนผสมวัสดุผงต่อทรายโดยประมาณ 1 : 1 โดยน้ำหนักอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.50 โดยน้ำหนัก ทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมเศษแก้วบดละเอียดที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนัก ทรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1 กำหนดสัญลักษณ์ D9FCx และ D11FCx โดย D9 และ D11 คือหน่วยน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์เท่ากับ 900 และ 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และ x คือปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์โดยเศษแก้วบดละเอียดในสัดส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ

ลำดับ ที่	สัญลักษณ์	วัสดุในส่วนผสม [กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร]				หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
		ปูนซีเมนต์	เศษแก้ว บดละเอียด	ทราย	น้ำ	
1	D9FC0	360	0	360	180	900
2	D9FC20	360	72 (20%)	288	180	900
3	D9FC40	360	144 (40%)	216	180	900
4	D9FC60	360	216 (60%)	144	180	900
5	D11FC0	360	0	360	180	1100
6	D11FC20	360	72 (20%)	288	180	1100
7	D11FC40	360	144 (40%)	216	180	1100
8	D11FC60	360	216 (60%)	144	180	1100

ขั้นตอนการผสม

1. เตรียมเครื่องมือสำหรับผสมคอนกรีต ซึ่งประกอบด้วย เครื่องผสมคอนกรีต บั้มลม และถังแรงดันผสมน้ำยาเพิ่มฟองโดยผสมสารเพิ่มฟองเหลว กับน้ำในอัตราส่วน 1 : 30 ใส่ลงในถังของเครื่องผลิตโฟมเหลว ในปริมาณที่ต้องการใช้ในการผสมแต่ละครั้ง
2. นำทรายและปูนซีเมนต์ใส่ลงในเครื่องผสมคอนกรีต จากนั้นจึงเปิดเครื่อง เพื่อผสมให้ทรายและปูนซีเมนต์คลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกันในเครื่องผสม เป็นเวลา 1.5 นาที
3. เมื่อทรายและปูนซีเมนต์คลุกเคล้าเข้ากันดีแล้ว จึงนำน้ำมาเติมลงในเครื่องผสมคอนกรีต ทั้งนี้ระหว่างเติมน้ำให้เปิดเครื่องผสมคอนกรีตเพื่อให้ น้ำที่เติมลงไปเข้ากันได้ดีกับส่วนผสมของทรายและปูนซีเมนต์ เป็นเวลา 1.5 นาที
4. เมื่อน้ำที่เติมลงผสมเข้ากันดีแล้วกับทรายและปูนซีเมนต์ (มอร์ตาร์) จึงทำการฉีดโฟมเหลวลงไปในเครื่องผสมคอนกรีต
5. เมื่อโฟมเหลวที่ฉีดลงไปคลุกเคล้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วกับมอร์ตาร์ จึงหยุดเครื่องผสมคอนกรีต แล้วนำคอนกรีตที่ได้ไปทำการทดสอบตามที่ได้กำหนดไว้ ทั้งนี้ในการผสมคอนกรีตแต่ละครั้งไม่ควรใช้เวลามากกว่า 10 นาที

มาตรฐานการทดสอบ

1. สารก่อฟองโฟมตามมาตรฐาน ASTM C796 Standard Test Method for Foaming Agents for use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam
2. ค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของทรายตามมาตรฐาน ASTM C128 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate
3. การกระจายขนาดคละ และโมดูลัสความละเอียดของทรายตามมาตรฐาน ASTM C136 Standard Test Method for Sieve Analysis and Fine Aggregates and Coarse Aggregates.
4. หน่วยน้ำหนักตามมาตรฐาน ASTM C138 Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete
5. ระยะเวลาไหลแผ่ ตามมาตรฐาน European Federation of National Associations Representing Producers and Applicators of Specialist Building Products for Concrete (EFNARC)
6. ระยะเวลาก่อตัว ตามมาตรฐาน ASTM C807 Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement Mortar by Modified Vicat Needle
7. กำลังอัด (Compressive Strength) ตามมาตรฐาน BS EN 12390-3 Testing Hardened Concrete, Compressive Strength of Test Specimens

ผลการวิจัย

องค์ประกอบเคมีและสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบหาองค์ประกอบเคมีใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer ในการทดสอบพบว่า องค์ประกอบเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เศษแก้วบดละเอียด พบว่า ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 63.01 และมีองค์ประกอบรองได้แก่ ออกไซด์ของซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 19.61 อะลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 4.13 และเหล็ก (Fe_2O_3) ร้อยละ 3.21 ตามลำดับ ปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์เท่ากับ ร้อยละ 3.69 ส่วนเศษแก้วบดละเอียดมีออกไซด์ของซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 91.78 และมีองค์ประกอบออกไซด์รองได้แก่ แมกนีเซียม (MgO) ร้อยละ 1.08 และ อะลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 0.13 ตามลำดับ ปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์เท่ากับร้อยละ 0.80

เมื่อพิจารณาขนาดเฉลี่ยอนุภาค (Mean Particle Size) และการกระจายขนาดคละของอนุภาค (Particle Size Distribution) ซึ่งทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง Particle Size Analyzer ผลการทดสอบขนาดเฉลี่ยอนุภาคเทียบโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เท่ากับ 19.07 ไมโครเมตร ขนาดเฉลี่ยอนุภาคของทรายและเศษแก้วบดละเอียดมีค่าเท่ากับ 61.43 และ 85.20 ไมโครเมตร ตามลำดับ

สมบัติเชิงกายภาพของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูลาร์

ในส่วนสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูลาร์ในสภาวะคอนกรีตสดนั้น ประกอบไปด้วยหน่วยน้ำหนักจริงเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยน้ำหนักที่ออกแบบไว้ความสามารถในการไหลผ่านและเวลาในการก่อตัว ดังแสดงในตารางที่ 2 จากการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ กำหนดหน่วยน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบในสภาวะคอนกรีตสดมีค่าเท่ากับ 900 และ 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อทำการผสมจริง รวมถึงการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษแก้วบดละเอียดร้อยละ 20 - 60 โดยน้ำหนัก พบว่าหน่วยน้ำหนักจริงของคอนกรีตสดมีค่าอยู่ในช่วง 880-920 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่หน่วยน้ำหนักออกแบบ 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่หน่วยน้ำหนักออกแบบเท่ากับ 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้พบว่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ที่ผสมจริงทุกอัตราส่วนผสมเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยน้ำหนักที่ได้ออกแบบไว้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2601-(สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2556)

จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบระยะการไหลผ่านของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ในสภาวะคอนกรีตสด พบว่าเมื่อไม่มีการแทนที่เศษแก้วบดละเอียด ระยะการไหลผ่านมีค่าเท่ากับ 22.5 และ 24.5 เซนติเมตรที่หน่วยน้ำหนัก 900, และ 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษแก้วบดละเอียดที่อัตราส่วนร้อยละ 20-60 โดยน้ำหนัก ระยะการไหลผ่านมีค่าเท่ากับ 23.0, 24.0 และ 23.5 เซนติเมตร ที่หน่วยน้ำหนัก 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ระยะการไหลผ่านมีค่าเท่ากับ 25.0, 26.5 และ 25.0 เซนติเมตรที่หน่วยน้ำหนัก 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ส่วนระยะการไหลผ่านของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษแก้วบดละเอียด มีระยะการไหลผ่านที่สูงกว่าคอนกรีตควบคุมในทุกส่วนผสม เนื่องจากขนาดอนุภาคที่ใหญ่ของเศษแก้วบดละเอียดทำให้ความต้องการน้ำในส่วนผสมลดลงและส่งผลให้แรงดันที่เกิดขึ้นในระหว่างอนุภาคลดลงตามไปด้วย (Jones and McCarthy, 2005)

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของคอนกรีตสด

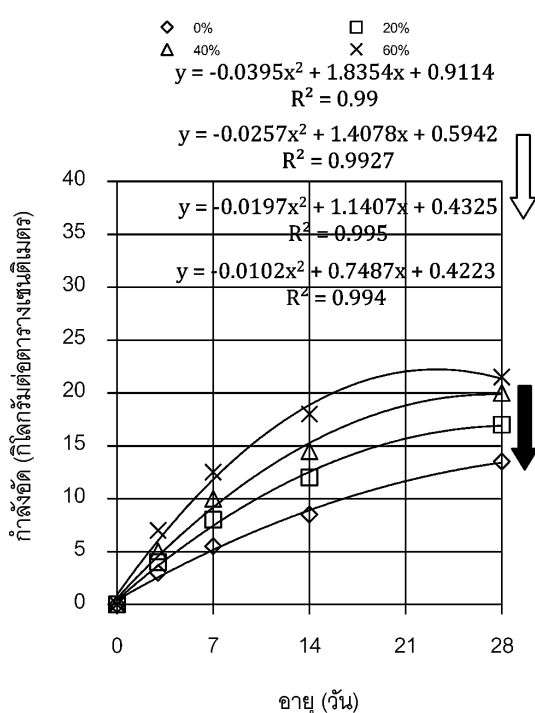
ลำดับ	ส่วนผสม	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)		การไหลแผ่ (ซม.)	การก่อตัว (ซม.)	
		ออกแบบ	ผสมจริง		ระยะต้น	ระยะปลาย
1	D9FC0	900	900	22.5	17.00	18.45
2	D9FC20	900	920	23.0	16.00	18.00
3	D9FC40	900	880	24.0	14.45	17.45
4	D9FC60	900	910	24.0	14.15	17.00
5	D11FC0	1100	1100	24.5	14.00	16.00
6	D11FC20	1100	1140	25.0	13.15	15.15
7	D11FC40	1100	1080	26.5	12.45	14.45
8	D11FC60	1100	1080	25.5	12.00	14.30

จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ในสภาวะคอนกรีตสด พบว่าเมื่อไม่มีเศษแก้วบดละเอียด ระยะเวลาการก่อตัวในช่วงต้น/ช่วงปลาย มีค่าเท่ากับ 17/18.45 และ 14/16 ชั่วโมง ที่หน่วยน้ำหนัก 900 และ 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษแก้วบดละเอียดร้อยละ 0 - 60 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการก่อตัวในช่วงต้น/ช่วงปลาย มีค่าเท่ากับ 16/18, 14.45/17.45, 14.15/17.45 และ 14.15/17 ชั่วโมง ที่หน่วยน้ำหนัก 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ระยะเวลาการก่อตัวในช่วงต้น/ช่วงปลาย มีค่าเท่ากับ 13.5/15.15, 12.45/14.45 และ 12/14.30 ที่ที่หน่วยน้ำหนัก 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้พบว่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษแก้วบดละเอียดมีระยะเวลาการก่อตัวทั้งในช่วงต้นและช่วงปลายที่เร็วขึ้นกว่าคอนกรีตควบคุมในทุกส่วนผสม เนื่องจากความน้อยในการทำปฏิกิริยาของเศษแก้ว

สมบัติเชิงกลกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์กำลังอัด

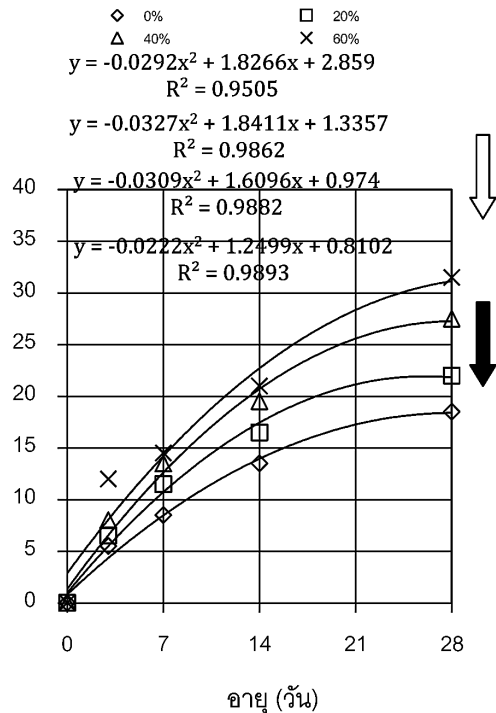
จากภาพที่ 1 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์หน่วยน้ำหนัก 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรคอนกรีตเมื่อไม่มีการแทนที่เศษแก้วบดละเอียดพบว่าที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน เท่ากับ 13.5, 17.0, 20.0 และ 21.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรเมื่อทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษแก้วบดละเอียดร้อยละ 0 - 60 โดยน้ำหนัก พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่เศษแก้วบดละเอียดที่เพิ่มขึ้น ในช่วงเท่ากับ 4 -17, 5 - 20, และ 7 - 21.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

จากภาพที่ 2 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาในระบบเซลลูลาร์หน่วยน้ำหนัก 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรคอนกรีตเมื่อไม่มีการแทนที่เศษแก้วบดละเอียดพบว่าที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน เท่ากับ 5.5, 8.5, 13.5, 18.5 และ 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษแก้วบดละเอียดที่ร้อยละ 0 - 60 โดยน้ำหนัก พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาในระบบเซลลูลาร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่เศษแก้วบดละเอียดที่เพิ่มขึ้นในช่วงเท่ากับ 6.5 - 22, 8 - 27.5 และ 12 - 31.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ



ภาพที่ 1 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

ที่หน่วยน้ำหนัก 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 2 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

ที่หน่วยน้ำหนัก 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2601-2556 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2556) คอนกรีตมวลเบาชนิด C9-C12 (801-1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ต้องมีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ไม่น้อยกว่า 25.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร พบว่าคอนกรีตมวลเบาในระบบเซลลูลาร์หน่วยน้ำหนัก 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรทุกอัตราส่วนไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนคอนกรีตมวลเบาในระบบเซลลูลาร์หน่วยน้ำหนัก 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเมื่อทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษแก้วบดละเอียดไม่เกินร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก

บทสรุป

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตมวลเบาชนิดเซลลูลาร์ผสมเศษแก้วบดละเอียด โดยกำหนดค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์เท่ากับ 900 และ 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยหน่วยน้ำหนักที่ผสมจริงเมื่อเปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักที่ได้ออกแบบไว้ต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นำเศษแก้วบดละเอียดแทนที่ในทรายแม่น้ำโดยน้ำหนักที่อัตราส่วนร้อยละ 0 (ตัวอย่างควบคุม), 20, 40 และ 60 สามารถสรุปได้ดังนี้

- เศษแก้วบดละเอียดมีออกไซด์ของซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 91.78 และขนาดเฉลี่ยอนุภาคของเศษแก้วบดละเอียดเท่ากับ 85.20 ไมโครเมตร
- หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ที่ผสมจริงทุกอัตราส่วนผสมเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยน้ำหนักที่ได้ออกแบบไว้มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2601-2556
- คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษแก้วบดละเอียด มีระยะการไหลแผ่ที่สูงกว่าคอนกรีตควบคุมในทุกส่วนผสม
- คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์หน่วยน้ำหนัก 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเมื่อทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษแก้วบดละเอียดไม่เกินร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก

เอกสารอ้างอิง

- American Standard Testing and Materials. (2011). ASTM C128 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. **Annual Book of ASTM Standard**, Philadelphia.
- American Standard Testing and Materials. (2011). ASTM C136 Standard Test Method for Sieve Analysis and Fine Aggregates and Coarse Aggregates. **Annual Book of ASTM Standard**, Philadelphia.
- American Standard Testing and Materials. (2011). ASTM C138 Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete. **Annual Book of ASTM Standard**, Philadelphia.
- American Standard Testing and Materials. (2011). ASTM C796 Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete using Preformed Foam. **Annual Book of ASTM Standard**, Philadelphia.

- American Standard Testing and Materials. (2011). ASTM C807 Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement Mortar by Modified Vicat Needle. **Annual Book of ASTM Standard**, Philadelphia.
- British Standards Institution. (2009). **BS EN 12390-3 Testing Hardened Concrete, Compressive Strength of Test Specimens**. London.
- European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete (2002). **Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete**. Surrey.
- Jones, M.R. & McCarthy, A. (2005). Utilizing unprocessed low-lime coal fly ash in foamed concrete. **Fuel**. 84 (1), 1398-1409.
- Kingko, G. (2010). **Properties of cellular lightweight concrete with superplasticizer**, Thesis. Faculty of Engineering, Khon Kean University. (in Thai)
- Kongsomsaksiri, S. (2004). Lightweight concrete mixed with novel selective foamed for energy saving. **Journal of Technical Education Development**. 16(51), 23-18. (in Thai)
- Rattanamongtip, I. (2010). **Modulus of elasticity and Poison ration of cellular lightweight concrete**. Thesis. Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University. (in Thai)

.....