

การศึกษาคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัด ของคอนกรีตผสมเศษเซรามิก

A Study of Property Compressive Strength and Bending Strength of Concrete Mixed with Ceramic Fragments

สุรัชย์ อำนวยพรเลิศ^{*}
Surachai Amnuaypornlert^{*}



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเศษเซรามิกประเภทภาชนะเครื่องใช้จากโรงงานในจังหวัดพะเยา โดยการแทนที่มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบด้วยเศษเซรามิกในอัตราส่วนผสมร้อยละ 2.5, 5 และร้อยละ 5, 10 ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตควบคุมที่ไม่ผสมเศษเซรามิก ซึ่งศึกษาทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 3, 7, 28 และ 56 วัน และทดสอบกำลังรับแรงดัด โดยออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเท่ากับ 210, 240, 280 ksc. จากการศึกษาพบว่าเศษเซรามิกที่นำมาผสมในคอนกรีตทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มเศษเซรามิกแทนที่ทรายมากขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมและให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดคือ เศษเซรามิกแทนที่ทรายร้อยละ 2.5 และแทนที่หินร้อยละ 10 ซึ่งมีค่ากำลังอัดเฉลี่ยมากกว่าตัวอย่างคอนกรีตควบคุมคิดเป็นร้อยละ 103.43 และค่ากำลังรับแรงดัดเฉลี่ยของคานคอนกรีตที่ผสมเศษเซรามิกมีค่ามากกว่าตัวอย่างคานคอนกรีตควบคุมทุกอัตราส่วนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตคิดเป็นร้อยละ 113.15

คำสำคัญ: กำลังรับแรงอัด, กำลังรับแรงดัด, คอนกรีตผสมเศษเซรามิก



Abstract

This research aimed to study the compressive strength and flexural strength of concrete mixed with fragments of ceramic ware factory in Phayao by replacing fine aggregate and coarse aggregate with ceramic fragments in a ratio of 2.5, 5 and 5 percent, respectively, compared with 10 control samples, concrete, ceramic fragments that were not mixed. This study tested the compressive strength at 3, 7, 28 and 56 days and flexural strength testing. The mixed concrete was designed as the 210, 240, 280 ksc. The study found that the ceramic fragments mixed in the

¹ อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

^{*} Corresponding author. Tel. 094-6407557 E-mail : aretomrit@gmail.com

concrete compressive strength were increased. At the same time, adding more sand instead of ceramic chip decreased the compressive strength. The optimum ratio that producted a maximum compressive strength was ceramic fragments instead of 2.5 percent of sand, and instead 10 percent of rock, which had more compressive strength than controlled concrete, representing 103 percent. The average flexural strength of concrete beams mixed with, ceramic fragments was 113.15 percent more than the concrete examples of concrete mix design control ratio.

Keywords: compressive strength, bending strength and ceramic concrete



ความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมเซรามิก เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทย เป็นแหล่งสร้างอาชีพของคนในท้องถิ่น สร้างรายได้ให้กับเศรษฐกิจไทยและนำเงินตราเข้าประเทศจากการส่งออก แหล่งผลิตอุตสาหกรรมเซรามิกจากข้อมูลกระทรวงอุตสาหกรรม พบว่า จำนวนโรงงานผลิตเซรามิกที่เปิดดำเนินการทั่วประเทศมีทั้งหมดมากกว่า 530 โรงงาน ส่วนใหญ่ตั้งกระจายอยู่ในจังหวัดต่างๆ เช่น จังหวัดลำปาง เชียงใหม่ สระบุรี สมุทรสาคร เป็นต้น โดยเฉพาะโรงงานเซรามิกไทยในภาคเหนือมีจำนวนโรงงานอยู่ที่ 243 โรงงาน ซึ่งถือว่ามากที่สุดของประเทศไทย (ที่มา: โรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม) เพราะเหตุนี้จึงทำให้เซรามิกในภาคเหนือมีปริมาณการผลิตที่มากขึ้นทุกวันทำให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ ตามมา เช่น ในขั้นตอนการผลิตเซรามิกจะเกิดการชำรุดเสียหายในขั้นตอนการทำ อันได้แก่ การแตกร้าวในขั้นตอนการเผา การเคลือบสี ผิดเพี้ยน การขึ้นรูปผิด ความชำรุดเสียหายของเซรามิกที่เกิดขึ้นอาจสูงถึงร้อยละ 30 ของการผลิตรายวัน [15] ทำให้ต้องมีการผลิตสินค้าเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งเซรามิกที่ชำรุดไม่สามารถนำกลับมาใช้งานตามวัตถุประสงค์ของเซรามิกแต่ละชนิด ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เสียหายมีปริมาณมากขึ้นกลายเป็นขยะอุตสาหกรรมก่อให้เกิดปัญหากับผู้ประกอบการในจัดเก็บหรือการทำลาย โดยทั่วไปแล้วทางโรงงานอุตสาหกรรมจะนำเซรามิกไปฝังกลบในพื้นที่ต่างๆ [3] เกิดเป็นค่าใช้จ่ายในการกำจัดที่สูง และในทางวิศวกรรมการที่นำเศษเซรามิกไปฝังกลบในพื้นที่ต่างๆ หากอนาคตมีการก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัย ตึกสูง ทำให้เกิดการทรุดตัวของฐานรากและดิน เพราะเศษเซรามิกมีปริมาณช่องว่างที่มากจึงไม่เหมาะสมกับการนำไปฝังกลบพื้นที่ หากกระบวนการจัดการไม่มีประสิทธิภาพย่อมส่งผลให้เกิดปัญหาด้านทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าผลิตภัณฑ์เซรามิกทำมาจากดินขาว (kaolinite) ที่เผาในอุณหภูมิสูงถึง 1,200 องศาเซลเซียส ทำให้เซรามิกมีความแข็งแกร่งทนต่อการสึกกร่อนมีความแข็งแรงสูงและยังสามารถต้านทานต่อแรงกดได้ดีจากงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีผู้สนใจศึกษานำเศษเซรามิกมาใช้เป็นมวลรวมหยาบในคอนกรีตผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตที่ผสมเศษเซรามิกแทนที่ของมวลรวมหยาบสามารถรับกำลังได้ [15] และยังมี การนำเศษกระเบื้องเซรามิกมาบดละเอียดผสมเข้ากับปูนซีเมนต์และทดสอบพฤติกรรมทางกลของคอนกรีต [14] แต่ในขณะเดียวกันยังไม่มีการศึกษาทางงานวิจัยโดยการนำเศษเซรามิกมาแทนที่ของมวลรวมหยาบควบคู่กับแทนที่มวลรวมละเอียดและศึกษาค่าการสูญเสียความสามารถเท่าใด

ดังนั้นทางผู้ศึกษาวิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษานำเศษเซรามิกเข้ามาปรับปรุงใช้ในงานคอนกรีตโดยการนำเศษเซรามิกเข้ามาแทนที่มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดของคอนกรีตและศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัดและศึกษาค่าการสูญเสียความสามารถเท่าใดของคอนกรีตผสมเศษเซรามิก ซึ่งเน้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเศษเซรามิก และศึกษาค่าการสูญเสียความสามารถเท่าใดของคอนกรีตผสมเศษเซรามิก



วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเศษเซรามิค
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเศษเซรามิค
3. เพื่อศึกษาค่าการสูญเสียความสามารถเทได้ของคอนกรีตผสมเศษเซรามิค



ขอบเขตและสมมติฐานของการศึกษา

ขอบเขตการศึกษา

1. ทดสอบกำลังรับแรงอัด [9] ภายใต้มาตรฐาน ASTM C 39
2. ทดสอบกำลังรับแรงดัด [8,10] ภายใต้มาตรฐาน ASTM C 78
3. ในการศึกษาใช้วัสดุประสานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
4. เซรามิคที่ใช้ทดสอบจากจังหวัดพะเยา
5. ย่อยเศษเซรามิคให้ขนาดเท่ากับหิน 3/4” โดยวิธีการทุบแล้วนำเข้าเครื่อง Los Angeles หมุนจำนวน 200 รอบ แล้วร่อนผ่านตะแกรงนำส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ขึ้นไปนำมาใช้เป็นมวลรวมหยาบ
6. ย่อยเศษเซรามิคให้ขนาดเท่ากับทรายโดยนำส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ของการร่อนมวลรวมหยาบมาใช้เป็นมวลรวมละเอียด
7. ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 3, 7, 28 และ 56 วัน
8. ทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน
9. ขนาดตัวอย่างทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมเศษเซรามิค 10.0×10.0×10.0 cm. จำนวน 180 ตัวอย่าง
10. ขนาดตัวอย่างทดสอบกำลังดัดคอนกรีตผสมเศษเซรามิค 10.0×10.0×50.0 cm. จำนวน 45 ตัวอย่าง
11. กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ในการออกแบบตามมาตรฐาน (ACI 211-1) เท่ากับ 210, 240, 280 ksc.
12. ปริมาณเศษเซรามิคที่ใช้แทนที่มวลรวมหยาบ ร้อยละ 5, 10 ของหน่วยน้ำหนักมวลรวมละเอียด ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย CO
13. ปริมาณเศษเซรามิคที่ใช้แทนที่มวลรวมละเอียด ร้อยละ 2.5, 5 ของหน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย S

สมมติฐานของการศึกษา

1. เศษเซรามิคแทนที่มวลรวมในคอนกรีตสามารถทำให้คอนกรีตรับกำลังได้



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1. การทดสอบแรงดัด (Bending Testing)

แรงที่ทำให้วัตถุโค้งหรือโก่งตัววัตถุถูกแรงกระทำในลักษณะแรงดัด จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โครงสร้างรับแรงดัด เช่น ฐานราก คาน พื้นทึ่หล่อในที่ พื้นสำเร็จรูป บันได อกไก่ แป จันทัน ซึ่งโครงสร้าง

ที่ยกตัวอย่างนี้เมื่อมีน้ำหนักกระทำในแนวตั้งฉากกับแนวก้น ด้านยาว จะเกิดการโค้งงอ การแอ่นตัว หรือ โกงตัวแล้วแต่ขนาดของน้ำหนักกระทำ และประเภทของโครงสร้าง ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการทดสอบแบบ การกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางคาน (Center-Point Loading) สามารถหาค่าโมดูลัสการแตกร้าวได้ ดังสมการที่ 1

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

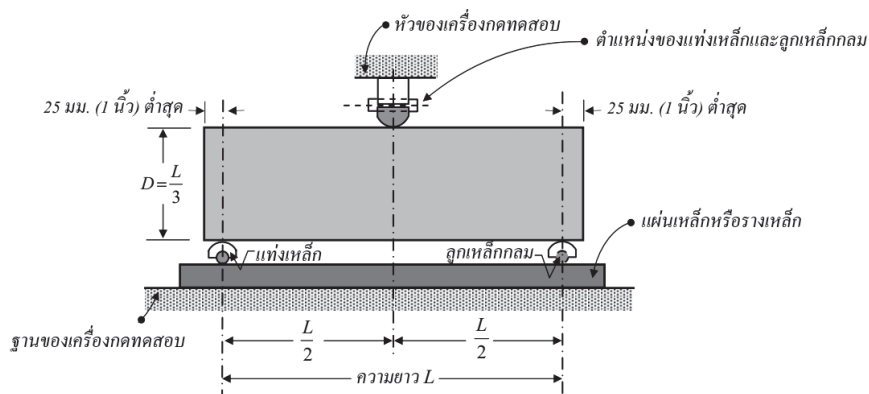
เมื่อ R คือ ค่าการรับแรงดัด หน่วยเป็น เมกะปาสกาล

P คือ แรงสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ หน่วยเป็น นิวตัน

L คือ ช่วงคาน หน่วยเป็น มิลลิเมตร

b คือ ความกว้างเฉลี่ยที่หน้าตัดบริเวณรอยแตก หน่วยเป็น มิลลิเมตร

d คือ ความลึกเฉลี่ยที่หน้าตัดบริเวณรอยแตก หน่วยเป็น มิลลิเมตร



รูปที่ 1 แสดงการทดสอบวิธีใช้แรงกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลาง [7]

4.1.2 การทดสอบแรงอัด (Compression Strength Test of Concrete, f_c')

ความเค้นอัดเกิดจากแรงอัด (P_{max}) ที่กระทำกับชิ้นทดสอบบนพื้นที่หน้าตัด (A) ซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการหดตัวหรืออัดตัวภายใต้แรงอัดนั้น ชิ้นทดสอบที่ใช้ในการทดสอบแรงอัดนี้ต้องมีลักษณะสั้น หรือมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าความยาวเนื่องจากการทดสอบแรงอัดกับชิ้นทดสอบที่มีความยาวจะเกิดการโค้งงอด้านข้าง กำลังอัดหาได้จากสมการที่ 2

$$f_c' = \frac{P_{max}}{A} \quad (2)$$

ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยด้านกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตทำให้สามารถรับกำลังอัดได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายหยาบและสามารถนำมาใช้กับคอนกรีตโครงสร้างทั่วไปได้ [5] และมีผู้วิจัยศึกษาพฤติกรรมและวิธีการคำนวณกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผสมเส้นใยเข้าไปแทนที่ในส่วนผสมโดยปริมาตรของคอนกรีตซึ่งสามารถช่วยให้กำลังรับแรงดัดและความเหนียวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผสมเส้นใยมีค่าสูงกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ผสมเส้นใย [4] และมีการนำกากดินตะกอนจากการผลิตกระเบื้องหลังคาเซรามิกมาเป็นส่วนผสมทดแทนผงอลูมิเนียมโดยใช้อัตราส่วนผสมคือ ปูนซีเมนต์, ปูนขาวและ

ยิบซั่ม ซึ่งทำให้ค่ากำลังรับแรงอัด, ความหนาแน่นเชิงปริมาตร และกำลังแรงดัด ที่มีการแทนที่ด้วยกากดินตะกอนเซรามิกมีค่าร้อยละสูงขึ้นตามปริมาณของกากดินตะกอนและอายุการบ่มที่มากขึ้น และเมื่อทำการเทียบค่าใช้จ่ายต้นทุนของการนำกากดินตะกอนมาใช้ ในการหาปริมาณต่อตารางเมตรสามารถประหยัดต้นทุนการผลิตได้ [13] อีกทั้งได้มีการศึกษาผลกระทบของวัสดุเหลือทิ้งเซรามิกที่ใช้เป็นมวลรวมหยาบต่อกำลังอัดและความทนทานของคอนกรีตเป็นการนำลูกถ้วยเซรามิกฉนวนไฟฟ้าเหลือทิ้ง ใช้เป็นมวลรวมหยาบผสมในคอนกรีตแทนที่หินปูนย่อยด้วยหินเซรามิกย่อยสามารถทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมหินเซรามิกย่อยมีค่ามากกว่าของคอนกรีตที่มีส่วนผสมปกติ [2] รวมถึงได้มีการศึกษาสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมกระเบื้องเซรามิกที่ใช้แล้วแทนที่มวลรวมหยาบเสริมเส้นใยเหล็กที่เหลือทิ้งจากการกลึงในส่วนผสมของคอนกรีตทำการทดสอบกำลังอัด กำลังดัด และกำลังดึงเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมจากการศึกษาสามารถทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยสูงกว่าคอนกรีตควบคุมและเมื่อเสริมเส้นใยเหล็กในปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง สำหรับการทดสอบกำลังดึงและ กำลังดัดเมื่อเสริมเส้นใยเหล็กในคอนกรีตจะได้ค่าที่สูงกว่าคอนกรีตควบคุม นอกจากนี้ การซึมของน้ำผ่านคอนกรีตจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมเส้นใยเหล็ก [6]

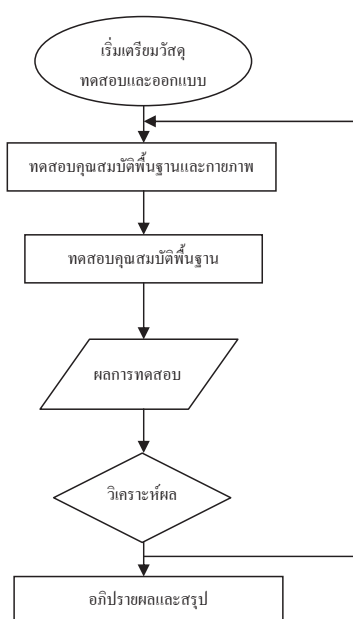
4.1.3 การสูญเสียค่าความสามารถเทได้ของคอนกรีต (slump loss)

ความสามารถเทได้เป็นคุณสมบัติที่ต้องการอย่างหนึ่งของคอนกรีตสด หมายถึง การที่คอนกรีตสดสามารถไหลเข้าแบบหล่อได้ดี ทำให้แน่นตัวได้ง่ายและคอนกรีตที่หล่อได้ปราศจากรูโพรงต่างๆ กล่าวคือ ช่องว่างทั้งสิ้นระหว่างวัสดุผสมจะต้องมีซีเมนต์เพสต์บรรจุเต็ม เหล็กเสริมก็ต้องมีคอนกรีตหุ้มอยู่ได้อย่างดี และต้องไม่มีการแยกขนาดของส่วนผสมคอนกรีต



วิธีดำเนินการวิจัยและการเตรียมการทดสอบ

การดำเนินงานวิจัยต้องมีการกระบวนการคิดวางแผนการทำงานเพื่อให้งานวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย

การทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ [11] ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง) หินขนาดโตสุด 3/4” ทราหยาบแม่น้ำ เศษเซรามิค ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ เช่น ความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำของมวลรวม การหาขนาดคละของมวลรวม และการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักกระทุ้งแน่น เพื่อนำค่ามาออกแบบส่วนผสมในคอนกรีต [1,12] และทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเศษเซรามิค เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเศษเซรามิค (OPC) ที่อายุคอนกรีต 3, 7, 28, 56 วัน และทดสอบค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตที่อายุคอนกรีต 28 วัน

การเตรียมวัสดุเซรามิค

เนื่องจากเศษเซรามิคที่นำมาจากแหล่งผลิตนั้นมีขนาดไม่ได้ตามวัตถุประสงค์ที่จะนำมาทดสอบ จึงต้องมีการนำเศษเซรามิคไปย่อยให้มีขนาดตรงตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ นำเศษเซรามิคที่ผ่านการย่อย เข้าเครื่อง Los Angeles Machine ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยใช้ลูกเหล็ก 12 ลูก ซึ่งหมุนด้วยความเร็ว 30-33 รอบ/นาที ตั้งค่าเครื่องให้หมุนจำนวน 200 รอบ เพื่อให้ขนาดของเศษเซรามิคเล็กลง จากนั้นนำเศษเซรามิคที่ผ่านเครื่อง Los Angeles Machine มาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานใช้เวลาร่อนประมาณ 5-10 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4 ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ขึ้นไปคือเซรามิคที่นำไปใช้แทนที่ของมวลรวมหยาบและส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ลงไปคือ เซรามิคที่นำไปใช้แทนที่ของมวลรวมละเอียด



รูปที่ 3 แสดงการย่อยเศษเซรามิค



รูปที่ 4 แสดงการหาขนาดคละของเซรามิค



วิธีการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลังอัดและกำลังดัด

ขั้นตอนในการทดสอบหาลำลังอัดและกำลังดัดในคอนกรีต จะต้องทำการหล่อตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบโดยการเตรียมส่วนผสมในอัตราส่วนที่กำหนดไว้โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 หินขนาด 3/4 นิ้ว ทราหยาบในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง น้ำสะอาด เซรามิคแทนที่มวลรวมหยาบ และเซรามิคแทนที่มวลรวมละเอียด จัดเตรียมแบบหล่อและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบให้เรียบร้อย นำส่วนผสมมวลรวมต่างๆ ซึ่งน้ำหนักที่ได้ออกแบบไว้ใส่ลงในเครื่องผสมคอนกรีตชนิดราบ จากนั้นนำปูนซีเมนต์ที่เตรียมไว้ค่อยๆ ใส่ลงในเครื่องผสม นำน้ำที่เตรียมไว้ค่อยๆ ใส่ลงในเครื่องผสม พยายามใส่ให้น้ำกระจายให้ทั่วในวัสดุผสม และทำการผสมเปียกประมาณ 10 นาที เทคอนกรีตลงในแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 10.0×10.0×10.0 cm. ส่วนคาน

ตัวอย่างมีขนาด 10.0×10.0×50.0 cm. แล้วนำตัวอย่างทดสอบไปเก็บในที่จัดเตรียมไว้ แกะคอนกรีตออกจากแบบเมื่อครบ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มในน้ำ

การทดสอบการสูญเสียความสามารถเทได้ของคอนกรีตผสมเศษเซรามิก (slump loss)

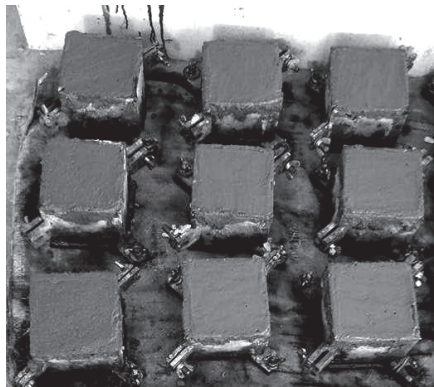
เป็นการสูญเสียความเหลวของคอนกรีตสดเมื่อเวลาผ่านไป การสูญเสียค่าการยุบตัวถือเป็นเหตุการณ์ปกติสำหรับคอนกรีตที่จะต้องแข็งตัวขึ้นเรื่อยๆ จากผลของการแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์ การสูญเสีย น้ำอิสระ (Free Water) ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน จากการดูดซึมของมวลรวมและจากการระเหย ดังนั้นเมื่อคอนกรีตถูกผสมขึ้นผสมขึ้นมาแล้วควรรีบล่ำเลียง เท และแต่งผิวให้ทันกับระยะเวลาที่คอนกรีตยังสามารถทำงานได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียค่าการยุบตัว โดยจะทำการทดสอบค่าการยุบตัวทุกๆ เวลา 15 นาที จนกว่าค่าการยุบตัวไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 7

การทดสอบแรงอัด (Compression Strength Test of Concrete)

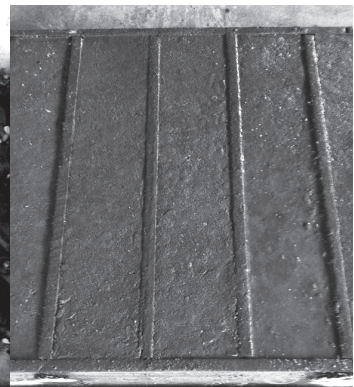
เป็นการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด [9] ของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ โดยมีตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 180 ตัวอย่าง โดยทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเศษเซรามิกเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเศษเซรามิก (OPC) ที่อายุคอนกรีต 3, 7, 28, 56 วัน ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Compression Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM C 39 ดังแสดงในรูปที่ 8



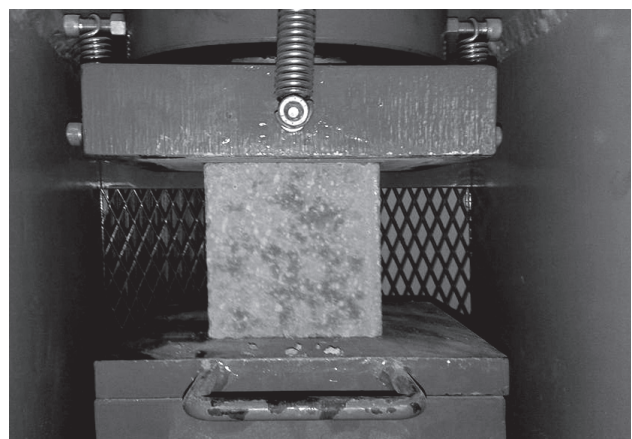
รูปที่ 5 แสดงส่วนผสมคอนกรีต



รูปที่ 6 แสดงการเทคอนกรีตลงในแบบหล่อ



รูปที่ 7 แสดงการยุบตัวของคอนกรีตทุกๆ 15 นาที



รูปที่ 8 แสดงการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

การทดสอบแรงดัด (Bending Testing)

ทำการทดสอบกำลังรับแรงดัด [10] ของคอนกรีตที่ผสมเศษเซรามิคเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเศษเซรามิค (OPC) โดยมีขนาดตัวอย่างทดสอบกำลังดัดคอนกรีต 10.0×10.0×50.0 cm. จำนวน 45 ตัวอย่างที่อายุคอนกรีต 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงดัดภายใต้มาตรฐาน ASTM C 78 ดังแสดงในรูปที่ 9



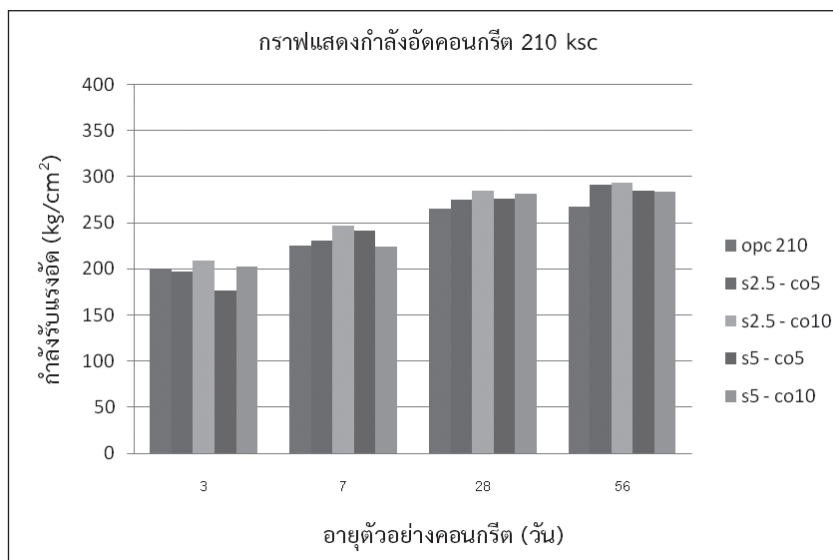
ผลการทดสอบและอภิปรายผล

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Compression Strength Test of Concrete)

1. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ค่าการออกแบบกำลังรับแรงอัด 210 ksc.



รูปที่ 9 แสดงการทดสอบแรงดัดของคอนกรีต



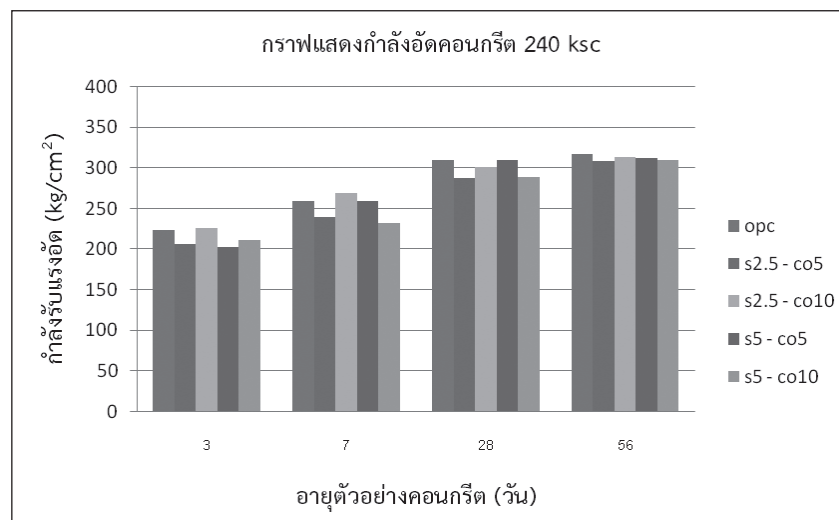
รูปที่ 10 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ที่ค่าออกแบบกำลังอัด 210 ksc.

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน พบว่าคอนกรีต ผสมเศษเซรามิกที่อัตราส่วน S2.5-CO10 มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ดีที่สุดโดยมีค่าอยู่ที่ 284.79 ksc.ซึ่งมากกว่าคอนกรีตควบคุมคิดเป็นร้อยละ 107.48 ของคอนกรีตควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 10

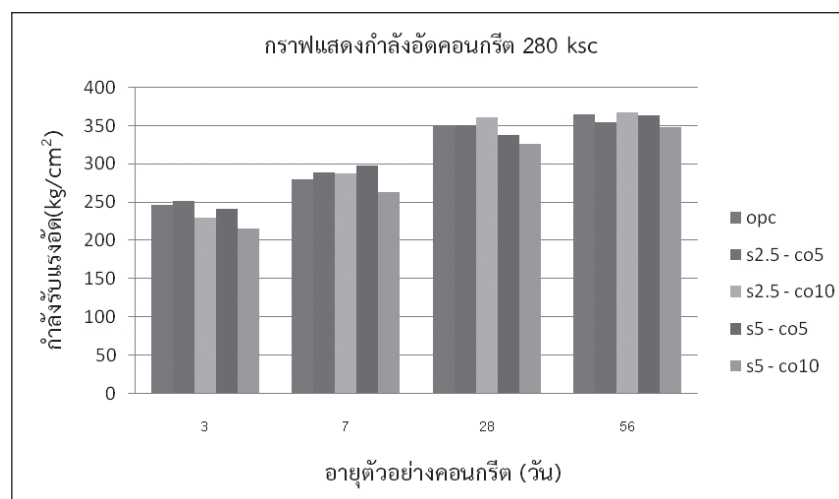
2. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ค่าการออกแบบกำลังอัด 240 ksc.

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน พบว่าคอนกรีตผสมเศษเซรามิกที่อัตราส่วน S2.5-CO10 ค่ากำลังอัดน้อยกว่าคอนกรีตควบคุมเพียงเล็กน้อยคิดเป็นร้อยละ 97.37 ของคอนกรีตควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 11

3. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ค่าการออกแบบกำลังอัด 280 ksc.



รูปที่ 11 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ที่ค่าออกแบบกำลังอัด 240 ksc.



รูปที่ 12 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ที่ค่าออกแบบกำลังอัด 280 ksc.

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ที่อายุ 28 วัน พบว่าคอนกรีตผสมเศษเซรามิกที่อัตราส่วน S2.5-CO10 มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ดีที่สุดโดยมีค่าอยู่ที่ 361.20 ksc.ซึ่งมากกว่าคอนกรีตควบคุมคิดเป็นร้อยละ 103.04 ของคอนกรีตควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 12

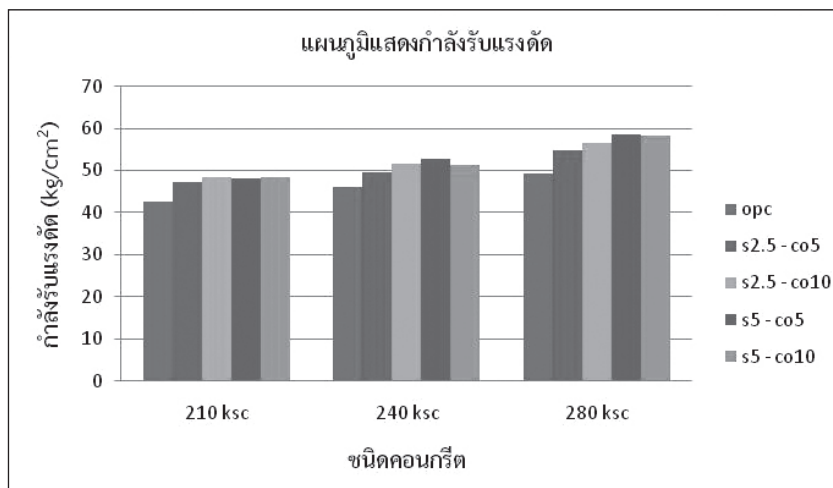
4. สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Compression Strength Test of Concrete)

สรุปจากรูป ที่ 10, 11 และ 12 จากรูปแสดงให้เห็นว่า การที่นำเศษเซรามิคเข้าไปแทนที่มวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียด ในอัตราส่วนที่เหมาะสมทำให้กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมที่อายุคอนกรีต 28 วัน และเมื่อตรวจสอบค่ากำลังอัดอีกครั้งที่อายุคอนกรีต 56 วันพบว่า คอนกรีตที่ผสมเศษเซรามิคยังมีการพัฒนากำลังอัดได้ดีกว่าคอนกรีตควบคุม เพราะเศษเซรามิคที่เข้าไปแทนที่ในมวลรวมละเอียด มีพื้นที่ผิวสูง มีผิวที่ขรุขระ มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม มากกว่ามวลรวมละเอียดที่ได้จากธรรมชาติ จึงมีพื้นที่สำหรับการยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมและซีเมนต์เพสต์มาก ผิวที่หยาบจะทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมและซีเมนต์เพสต์ดีขึ้น และทำให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้นด้วย

ผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีต (Bending Testing)

ผลการทดสอบการรับกำลังดัดของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน ได้ผลการทดสอบตามรูปที่ 13

จากรูปที่ 13 แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเศษเซรามิคที่อายุคอนกรีต 28 วัน มีค่ากำลังดัดมากกว่าคอนกรีตควบคุม (OPC) ทุกอัตราส่วนผสม เนื่องจากมวลรวมที่ได้จากเศษเซรามิค มีขนาดรูปร่างลักษณะที่ดี มีพื้นที่ผิวสัมผัสหยาบและด้าน จึงช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนดีขึ้น



รูปที่ 13 แสดงผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต

3. ผลการทดสอบการสูญเสียความสามารถเทได้ของคอนกรีต (Workability)

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบการสูญเสียความสามารถเทได้ของคอนกรีต ที่ค่าการออกแบบกำลังอัด 210 ksc.

ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (cm.)								
อัตราส่วนผสม	ระยะการทดสอบ (นาที)							
	0	15	30	45	60	75	90	105
OPC	9	7	3	2.5	1.5	0.5	–	–
S2.5-CO5	10	7	3	2.5	1.5	1	0.5	–
S2.5-CO10	9.05	5	4	2	1	0.5	–	–
S5-CO5	10	5	4.5	2.5	2	1	0.5	–
S5-CO10	9.5	4	2.5	1.5	1	0.5	–	–

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบการสูญเสียความสามารถเตี๊ไ้ของคอนกรีต ที่ค่าการออกแบบกำลังอัด 240 ksc.

อัตราส่วนผสม	ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (cm.)							
	ระยะเวลาทดสอบ (นาที่)							
	0	15	30	45	60	75	90	105
OPC	9	5	3	2	1	0.5	-	-
S2.5-CO5	9.5	6	5.5	4	2	1.5	0.5	-
S2.5-CO10	10	4.5	2.5	2	1.5	1	0.5	-
S5-CO5	9.5	5	3	2.5	1.5	0.5	-	-
S5-CO10	10	3.5	3	2	1.5	0.5	-	-

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบการสูญเสียความสามารถเตี๊ไ้ของคอนกรีต ที่ค่าการออกแบบกำลังอัด 280 ksc.

อัตราส่วนผสม	ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (cm.)							
	ระยะเวลาทดสอบ (นาที่)							
	0	15	30	45	60	75	90	105
OPC	9	4	2	1.5	1	0.5	-	-
S2.5-CO5	8	5.5	5	2	2	1	0.5	-
S2.5-CO10	9.5	5	3.5	2.5	1.5	0.5	-	-
S5-CO5	8	4.5	3	2	1.5	0.5	-	-
S5-CO10	8	5	2.7	2	1.5	0.5	-	-

หมายเหตุ : OPC คือ คอนกรีตควบคุม, S คือ เซรามิกแทนที่ทรายโดยหน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์, CO คือ เซรามิกแทนที่หินโดยหน่วยน้ำหนักของทราย

จากตารางการทดสอบที่ 1, 2 และ 3 ค่าความสามารถเตี๊ไ้ของคอนกรีต แสดงให้เห็นว่า คอนกรีตที่ผสมเศษเซรามิก มีค่าการยุบตัวที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม โดยที่ค่าการออกแบบกำลังอัดที่ 210 ksc. ค่าการยุบตัวของคอนกรีตควบคุมอยู่ที่ 0.5 cm. ที่ระยะเวลา 75 นาที่ เมื่อผสมเศษวัสดุเซรามิกเข้าไปในอัตราส่วน S2.5-CO5, S2.5-CO10, S5-CO5 และ S5-CO10 พบว่าที่ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ 0.5 cm. อยู่ในช่วงระยะเวลา 75-90 นาที่ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม ที่ค่าการออกแบบกำลังอัด 240 ksc. คอนกรีตควบคุม มีค่าการยุบตัว 0.5 cm. ที่ระยะเวลา 75 นาที่ และเมื่อเพิ่มปริมาณเศษเซรามิกเข้าไปในอัตราส่วน S2.5-CO5, S2.5-CO10, S5-CO5 และ S5-CO10 พบว่ามีระยะเวลาการก่อตัวใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม โดยที่ค่าการยุบตัว 0.5 cm. มีระยะเวลาการก่อตัวอยู่ในช่วง 75-90 นาที่ และที่ค่าการออกแบบกำลังอัด 280 ksc. คอนกรีตควบคุมมีค่าการยุบตัว 0.5 cm. ที่ระยะเวลา 75 นาที่ และเมื่อเพิ่มปริมาณเศษเซรามิกเข้าไปในอัตราส่วน S2.5-CO5, S2.5-CO10, S5-CO5 และ S5-CO10 มีค่าการก่อตัวเริ่มต้นอยู่ในช่วง 8-9.5 cm. โดยที่ค่าการยุบตัวของคอนกรีตอยู่ที่ 0.5 cm. มีระยะเวลาการก่อตัวอยู่ในช่วง 75-90 นาที่



สรุปผลการศึกษา

การทดสอบผลของการศึกษาคุณสมบัติ กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัด ของคอนกรีตผสมเศษเซรามิค เพื่อทำการศึกษาคูณสมบัติทางกลของคอนกรีตที่ผสมเศษเซรามิค เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเศษเซรามิค ทำให้ทราบว่าเซรามิคที่เหลื้ใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม สามารถนำมาผสมในคอนกรีตได้ และยังช่วยเพิ่มกำลังอัด และกำลังดัดของคอนกรีตแต่ต้องอยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสม จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าการใช้เศษเซรามิค แทนที่ทรายและหินธรรมชาติ จะส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก เซรามิคมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าทรายธรรมชาติและเศษเซรามิคมีพื้นผิวที่ขรุขระมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมมากกว่ามวลรวมธรรมชาติ ซึ่งเป็นผลมาจากการผ่านกระบวนการบด จึงส่งผลให้เศษเซรามิคมีการยึดเกาะได้ดีกว่า โดยคอนกรีตผสมเศษเซรามิคร้อยละ S2.5-CO10 ให้กำลังอัดสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามหากใส่เศษเซรามิคในอัตราส่วนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ค่ากำลังของคอนกรีตลดลง และจากการศึกษาค่ายุบตัวของคอนกรีตที่ผสมเศษเซรามิค พบว่าค่ายุบตัวไม่แตกต่างกันกับคอนกรีตควบคุม



เอกสารอ้างอิง

- ชัชวาลย์ เสรฐบุตตร. (2552). “หนังสือคอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”; พิมพ์ครั้งที่ 8 กรุงเทพฯ;คอนกรีตผสมเสร็จจีซีแอนด์.
- ณัฐพล สารรัมย์ และคณะ. (2554). “ศึกษาผลกระทบของวัสดุเหลือทิ้งเซรามิคที่ใช้เป็นมวลรวมหยาบต่อกำลังอัดและความทนทานของคอนกรีต”;วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ดรฤณี วัฒนศิริเวช. (2554). “เซรามิคในอุตสาหกรรม (Industrial ceramics)”; พิมพ์ครั้งที่ 1 มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- ทวีชัย สำราญวานิช และคณะ. (2550). “ศึกษาพฤติกรรมและวิธีการคำนวณกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผสมเส้นใย”; วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ธีระ เทพพรหม. (2552). “ศึกษากำลังอัดของคอนกรีต โดยใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบ”; วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์.
- นันทชัย ชูศิลป์ และคณะ. (2556). “ศึกษาสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แล้วแทนมวลรวมหยาบเสริมเส้นใยเหล็กที่เหลื้ทิ้งจากการกลึง”; วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- ปริญญญา จินดาประเสริฐ. (2552). “หนังสือคอนกรีตเทคโนโลยี”; พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ; สมาคมคอนกรีตไทย; บริษัทปูนซีเมนต์อุตสาหกรรม.
- มาตรฐานงานช่าง มยธ. “(ท) 105.2-2534 มาตรฐานการทดสอบการรับแรงดัดของคอนกรีตกรมโยธาธิการกระทรวงมหาดไทย”.
- มาตรฐาน “American Society of Testing Materials ASTM C 39: Standard Test Method For Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens)”
- มาตรฐาน “American Society of Testing Materials ASTM C 78: Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)”

- เรืองรุชดี ชีระโรจน์ “การทดสอบวัสดุ (*Construction Lab*)”[ออนไลน์]เข้าถึงได้จาก:<http://raungrut.sungkonline.com/> [สืบค้นเมื่อ] 7 กรกฎาคม 2558
- วินิต ช่อวิเชียร. (2544). “หนังสือคอนกรีตเทคโนโลยี (*Concrete Technology*)”; พิมพ์ครั้งที่ 9 กรุงเทพฯ; ป. สัมพันธ์พาณิชย์.
- สหเทพ ทองคล้าย และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์. (2554). “ศึกษาการนำกากดินตะกอนจากการผลิตกระเบื้องหลังคาเซรามิกมาเป็นส่วนผสมทดแทนผงอลูมิเนียม”; วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- Nuran Ay, Mevlut Unal “The use of waste ceramic tile in cement production”, *Cement and Concrete Research* 30 497–499, 2000.
- R.M. Senthamarai and P. Devadas Manoharan, “Concrete with Ceramic Waste Aggregate”, Elsevier, *Cement and Concrete Composites*, No. 27, pp. 910–913, 2005.