วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

ผลกระทบของเศษแก้วต่อกำลังอัดและความต้านทานต่อการขัดสีของพื้นหินขัด
Effect of Glass Cullet on Compressive Strength and Abrasion Resistance of Terrazzo Floor Tile

รุ่งโรจน์ จักภิระ[1] และ สนธยา ทองอรุณศรี[2*]

[1,2]อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดตาก 63000

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติด้านกำลังอัดและความต้านทานต่อการขัดสีของแผ่นพื้นหินขัดที่ใช้เศษแก้วเป็นส่วนผสม อัตราส่วนผสมของหินขัดคือ 1 : 2.5 (ปูนซีเมนต์ขาว : หินเกล็ด) โดยน้ำหนัก ใช้เศษแก้วแทนที่หินเกล็ดร้อยละ 0, 10, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของมวลรวม ทดสอบกำลังอัดและการขัดสีที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน จากผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดของส่วนผสมที่มีเศษแก้วร้อยละ 0, 10, 25, 50, 75 และ 100 มีค่าเท่ากับ 581.11, 540.81, 534.83, 480.94, 435.42 และ 343.71 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ กำลังอัดมีค่าลดลงตามปริมาณเศษแก้วที่เพิ่มขึ้น รูปแบบการวิบัติในทุกอัตราส่วนเป็นการวิบัติผ่านเศษแก้ว จากผลการทดสอบการขัดสีพบว่าเมื่อใช้เศษแก้วร้อยละ 10-50 แผ่นพื้นหินขัดมีความต้านทานต่อการขัดสีลดลงตามปริมาณเศษแก้วเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้เศษแก้วร้อยละ 75 และ 100 พบว่ามีความสามารถต้านทานการขัดสีใกล้เคียงกับแผ่นพื้นหินขัดที่ไม่มีเศษแก้วเป็นส่วนผสม

Abstract

This research was aimed to study the compressive strength and the abrasion resistance of Terrazzo floor which used glass cullet as aggregate. The mix proportion of Terrazzo was 1 : 2.5 (white cement : chipped stone) by weight. The weight percentages of replacement of chipped stone by glass cullet were 0, 10, 25, 50, 75 and 100% by weight of aggregate. The compressive strength and abrasion resistance of Terrazzo specimens were measured at 7, 14 and 28 days. The results indicated that the compressive strength of mixtures with glass cullet of 0, 10, 25, 50, 75 and 100% were 581.11, 540.81, 534.83, 480.94, 435.42 and 343.71 kg/cm^2, respectively. It showed that the compressive strength decreased with the increase of glass cullet content. The abrasion test of Terrazzo specimens showed that, at low glass cullet content (10-50%), the abrasion resistance increased with the increase of glass cullet content. The mixtures with glass cullet of 75 and 100% have abrasion resistance nearly the same as the mixture without glass cullet

คำสำคัญ : งานหินขัด เศษแก้ว กำลังอัด การขัดสี ความคงทน

Keywords : Terrazzo, Glass cullet, Compressive strength, Abrasion, Durability

ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ sontaya@rmutl.ac.th โทร. 08 9635 3425

1. บทนำ

งานหินขัดเป็นงานตกแต่งผิวโครงสร้างอาคาร เพื่อให้เกิดลวดลายและความสวยงาม ส่วนของอาคารที่สามารถตกแต่งด้วยหินขัด เช่น เสา บันได พื้น และผนัง เป็นต้น หรือแม้แต่โต๊ะสนาม และกระถางดอกไม้มีการใช้หินขัดในการตกแต่ง การทำหินขัดจำเป็นต้องใช้เทคนิคทางด้านฝีมือและด้านศิลปะมาผสมผสานกัน การทำหินขัดจำเป็นต้องใช้หินเกล็ดที่มีขนาดและสีที่แตกต่างกันเพื่อให้เกิดลวดลายที่สวยงาม หินเกล็ดเหล่านี้จึงต้องมีการคัดขนาดและสีเป็นพิเศษ นอกจากนี้แหล่งของหินเกล็ดที่มีสีต่างๆ อยู่กระจัดกระจายกันในแต่ละจังหวัด จึงต้องมีการขนส่งเป็นระยะทางไกลทำให้หินเกล็ดสำหรับงานหินขัดมีราคาค่อนข้างสูง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเศษแก้ว (Glass Cullet) ซึ่งเป็นขยะประเภทหนึ่งที่มีอยู่ทั่วไปแทบทุกพื้นที่ มาใช้ในการทำหินขัด ข้อดีที่เศษแก้วเหมาะสำหรับนำมาใช้ในงานหินขัดคือ เศษแก้วมีหลายชนิดแต่ละชนิดจะมีความแวววาวและมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาและสารเติมแต่งที่อยู่ในเศษแก้วนั้นๆ (กวี หวังนิเวศน์กุล, 2548) เมื่อนำมาทำหินขัดผิวที่ได้จึงประกอบด้วยแก้วที่มีความแวววาวโปร่งใส หรือมีสีสันสวยงาม หรือแม้แต่สามารถสะท้อนแสงได้ นอกจากนี้แก้วยังสามารถทำให้มีขนาดตามที่ต้องการได้ง่าย ปริมาณของเศษแก้วที่มีอยู่ในระบบของการนำมาใช้ใหม่มีจำนวนมากและเพิ่มขึ้นทุกปี ตามกำลังการผลิตและการใช้งานของวัสดุเศษแก้ว การใช้เศษแก้วในงานหินขัดจึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษวัสดุที่ถูกทิ้งหรือขายในราคาถูกให้กลับมามีมูลค่าเพิ่มมากขึ้นและยังเป็นการส่งเสริมให้มีการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ในวงการก่อสร้าง ที่ผ่านมามีการนำเศษแก้วมาใช้เป็นมวลรวมในงานคอนกรีต (Concrete Technology Unit, 2003) และพบว่าการใช้คอนกรีตผสมเศษแก้วไม่เกิดปัญหาในการใช้งานเมื่อเวลาผ่านไปกว่า 10 ปี (McKinnon, 2002) อย่างไรก็ตามการใช้เศษแก้วในงานพื้นหินขัดจำเป็นต้องศึกษาผลกระทบของเศษแก้วต่อคุณสมบัติของพื้นหินขัด เนื่องจากเศษแก้วมีคุณสมบัติพื้นฐานเช่น ความแข็งแรง และความทนทานต่อการขัดสี แตกต่างจากหินเกล็ด นอกจากนี้การใช้เศษแก้วเป็นส่วนผสมจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัย เพื่อป้องกันอันตรายจากเศษแก้วที่หลุดร่อนออกจากแผ่นพื้น จึงต้องทดสอบความคงทนโดยการทดสอบการขัดสีของพื้นหินขัดที่ได้ ดังนั้นในการพัฒนาพื้นหินขัดที่ใช้เศษแก้วเป็นส่วนผสมจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงการรับกำลังอัดและความทนทานต่อการขัดสีของพื้นหินขัด

1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณเศษแก้วที่เหมาะสม ในการนำมาแทนที่มวลรวมสำหรับงานพื้นหินขัด พร้อมทั้งศึกษากำลังอัดและความทนทานต่อการขัดสีของพื้นหินขัดที่มีเศษแก้วเป็นส่วนผสม

1.2 ขอบเขตของการศึกษา

พื้นหินขัดทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ชั้นล่างเป็นชั้นปูนทรายรองพื้นงานวิจัยนี้เลือกใช้ความหนา 2.5 เซนติเมตร และส่วนของหินขัดซึ่งเป็นบริเวณผิว เลือกใช้ความหนา 1.5 เซนติเมตร ดังนั้นรวมความหนาของแผ่นพื้นหินขัดทั้งสิ้น 4 เซนติเมตร ส่วนผสมของหินขัดกำหนดเป็นอัตราส่วนคงที่คือ ปูนซีเมนต์ : หินเกล็ด เท่ากับ 1 : 2.5 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ใช้ร้อยละการแทนที่หินเกล็ดด้วยเศษแก้วเท่ากับ 0, 10, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของมวลรวม

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้

1. วัสดุประสานที่ใช้มี 2 ชนิดคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สีขาว มีความถ่วงจำเพาะ 3.08 ใช้สำหรับส่วนของหินขัด และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีความถ่วงจำเพาะ 3.13 ใช้สำหรับทำชั้นปูนทรายรองพื้น

2. มวลรวมละเอียดที่ใช้ได้แก่ทรายแม่น้ำ มีความถ่วงจำเพาะ 2.58 และร้อยละการดูดซึมเท่ากับ 0.78

3. หินเกล็ดที่ใช้เป็นหินเกล็ดขาวคัดกำแพง เป็นหินเกล็ดที่มีสีขาวล้วน (> 95%) แหล่งหินอยู่ที่ จ.กำแพงเพชร ลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวอมชมพูอ่อนๆ มีความถ่วงจะเพาะเท่ากับ 2.53 มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 1.48 ใช้หินเกล็ดเบอร์ 3, 3½ และ 4 คละขนาดในสัดส่วนที่เท่ากัน

4. เศษแก้ว นำมาจากขวดแก้วธรรมดาคละสี ดังรูปที่ 1 ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็น โซเดียมแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งเป็นส่วนผสมหลักในการทำแก้วทั่วไป มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.73 ร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 0.17 การดูดซึมน้ำของแก้วนี้อาจเกิดจากการที่บริเวณขอบเศษแก้วไม่เรียบ จึงเกิดการยึดเหนียวโมเลกุลของน้ำไว้ แก้วจะถูกนำมาย่อยและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 3/4, 3/8 และ เบอร์ 4 แล้วนำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 3/8 และ เบอร์ 4 ในสัดส่วนที่เท่ากันมาใช้ในการศึกษา

รูปที่ 1 ขวดแก้วที่นำมาใช้ศึกษา

2.2 ส่วนผสมที่ใช้

ส่วนผสมที่ใช้ศึกษาสมบัติของพื้นหินขัดที่ใช้เศษแก้วเป็นส่วนผสมมีทั้งสิ้น 6 ส่วนผสม ดังตารางที่ 1 กำหนดอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : หินเกล็ด เท่ากับ 1 : 2.5 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ใช้ร้อยละการแทนที่หินเกล็ดด้วยเศษแก้วเท่ากับ 0, 10, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของมวลรวม

2.3 วิธีการทดสอบ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของเศษแก้วต่อกำลังอัดและความต้านทานต่อการขัดสีของพื้นหินขัด ดังนั้นการทดลองประกอบด้วย การทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมหินขัด และการทดสอบความต้านทานต่อการขัดสี การทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมหินขัดตามมาตรฐาน ASTM C109 ใช้ตัวอย่างขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ความทนทานต่อการขัดสีตามมาตรฐาน ASTM C944 ใช้ตัวอย่างขนาด 30 x 30 x 4 เซนติเมตร ทดสอบความทนทานต่อการขัดสีเมื่อตัวอย่างมีอายุครบ 28 วัน การขัดสีใช้เครื่องทดสอบดังรูปที่ 2 ใช้น้ำหนักที่กดทับขณะทดสอบเท่ากับ 10 กิโลกรัม ขัดสีด้วยความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 นาที โดยจะหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปหลังจากตัวอย่างผ่านการทดสอบด้วยเครื่องขัดแล้ว ในแต่ละครั้งของการทดสอบใช้จำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของหินขัด (ส่วนผสมต่อ ปูนซีเมนต์ 50 กิโลกรัม)

ส่วนผสมที่	ปริมาณเศษแก้ว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปูนซีเมนต์ (กก.)	หินเกล็ด (กก.)	เศษแก้ว (กก.)	น้ำ (กก.)
1	0	50.00	125.00	0.00	25.00
2	10	50.00	112.50	12.50	25.00
3	25	50.00	93.75	31.25	25.00
4	50	50.00	62.50	62.50	25.00
5	75	50.00	31.25	93.75	25.00
6	100	50.00	0.00	125.00	25.00

รูปที่ 2 เครื่องทดสอบการขัดสีของผิวหินขัด

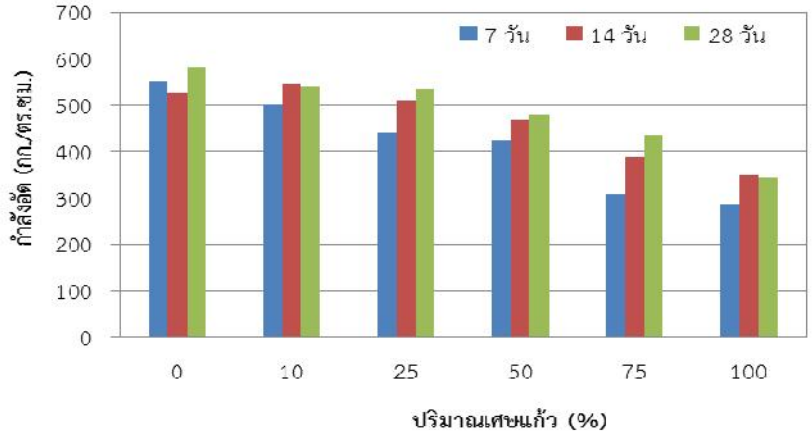
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 กำลังอัดของส่วนผสมหินขัด

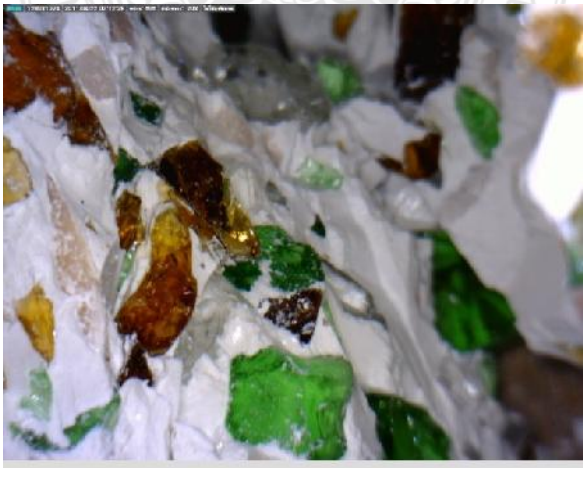
จากผลการทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมหินขัดดังตารางที่ 2 และรูปที่ 3 พบว่ากำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของคอนกรีต ส่วนผสมที่ไม่มีเศษแก้วมีกำลังอัดสูงสุดที่อายุ 28 วันมีกำลังอัด 581.11 กก./ตร.ซม. และกำลังลดลงตามปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น โดยกำลังอัดของส่วนผสมที่มีเศษแก้วร้อยละ 10, 25, 50,75 และ 100 มีกำลังอัดคิดเป็นร้อยละ 93, 92, 83, 75 และ 59 ของกำลังอัดส่วนผสมที่ไม่มีเศษแก้ว ตามลำดับ จากการพิจารณาลักษณะเสียหายหลังจากการทดสอบกำลังอัดในทุกอัตราส่วน ดังรูปที่ 4 พบว่าเป็นการวิบัติเป็นการแตกผ่านเศษแก้ว เนื่องจากกำลังของแก้วจะมีค่าน้อยกว่าเพสต์และ หินเกล็ด ดังนั้นกำลังอัดจึงลดลงเมื่อมีปริมาณเศษแก้วเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังอัดและการขัดสีของพื้นหินขัด

ส่วนผสมที่	ปริมาณเศษแก้ว (%)	กำลังอัด (กก./ตร.ซม.)			น้ำหนักที่หายไป/พ.ท.ขัดสี (ก./ตร.ซม.)		
		7 วัน	14 วัน	28 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
1	0	550.30	524.97	581.11	0.02996	0.02389	0.02379
2	10	500.55	547.08	540.81	0.04685	0.02527	0.02723
3	25	441.26	510.47	534.83	0.07189	0.05417	0.03421
4	50	424.13	467.65	480.94	0.09401	0.04486	0.07084
5	75	310.15	387.32	435.42	0.03315	0.01722	0.02510
6	100	286.58	349.20	343.71	0.04354	0.05814	0.02302



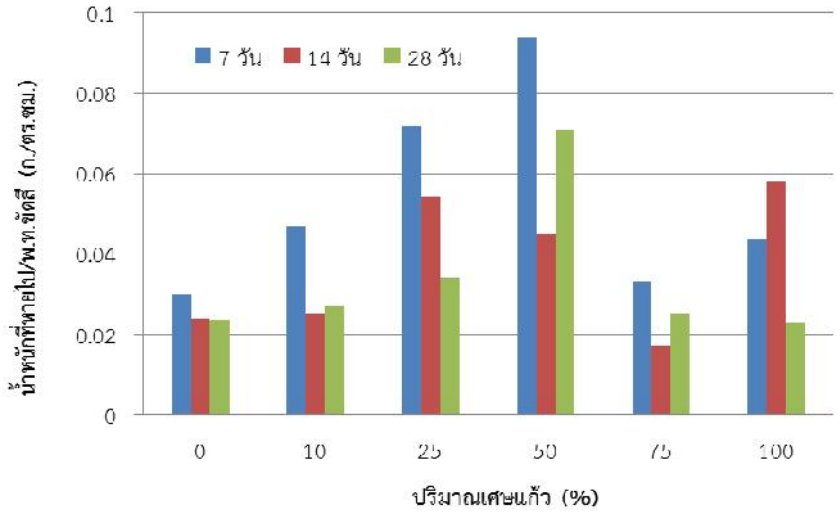
รูปที่ 3 กำลังอัดของส่วนผสมพื้นหินขัด



รูปที่ 4 รูปแบบการวิบัติของส่วนผสมที่มีเศษแก้วร้อยละ 75 (ขยาย 20 เท่า)

3.2 ความต้านทานการขัดสีของพื้นหินขัด

การประเมินความต้านทานการขัดสี พิจารณาจากน้ำหนักที่หายไปหลังจากทดสอบการขัดสี หากมีน้ำหนักหายไปมากแสดงว่ามีความต้านทานการขัดสีต่ำ จากการทดสอบการขัดสีของพื้นหินขัดดังตารางที่ 2 และรูปที่ 5 พบว่าพื้นหินขัดมีการพัฒนาการต้านทานต่อการขัดสีเพิ่มขึ้น ตามอายุของพื้นหินขัด ยกเว้นบางส่วนผสมที่มีน้ำหนักหายไปต่อพื้นที่การขัดสีที่อายุ 28 วันมากกว่าที่อายุ 7 หรือ 14 วัน ทั้งนี้เนื่องจากในบางตัวอย่างมีการหลุดร่อนของเศษแก้ว จากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างที่ใช้เศษแก้วร้อยละ 100 มีค่าน้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่การขัดสีน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.02302 กรัม/ตร.ซม. ที่อายุ 28 วัน ส่วนการใช้เศษแก้วร้อยละ 50 มีค่าน้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่การขัดสีสูงสุด เมื่อพิจารณาผลทดสอบรวมทั้งหมดพบว่าเมื่อใช้เศษแก้วร้อยละ 10-50 แผ่นพื้นหินขัดมีความต้านทานต่อการขัดสีลดลงตามปริมาณเศษแก้วเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้เศษแก้วร้อยละ 75 และ 100 พบว่ามีความสามารถต้านทานการขัดสีใกล้เคียงกับแผ่นพื้นหินขัดที่ไม่มีเศษแก้วเป็นส่วนผสม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก โดยทั่วไปเศษแก้วมีความต้านทานการขัดสีได้ดีกว่ามอร์ต้า แต่หากใช้เศษแก้วในส่วนผสมน้อยเกินไปก็จะมีปริมาณเศษแก้วที่ผิวไม่มากนักเมื่อถูกขัดสี พื้นที่ที่ถูกขัดสีส่วนใหญ่จึงเป็นมอร์ต้า ทำให้มีน้ำหนักหายไปต่อพื้นที่หินขัดมาก

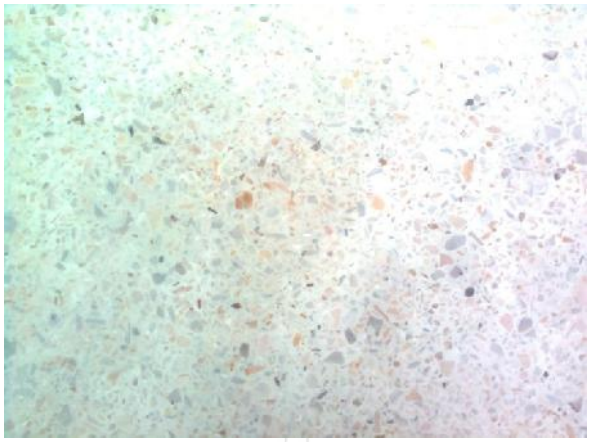


รูปที่ 5 โมดูลัสการแตกร้าวที่อายุ 28 วัน ของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์

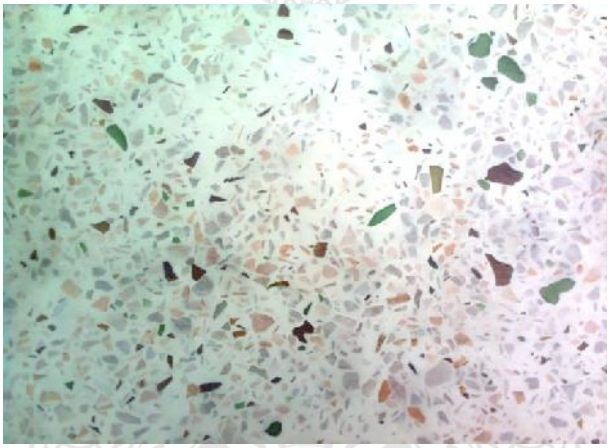
3.3 การกระจายตัวของเศษแก้วในพื้นหินขัด

การทดสอบการกระจายตัวของเศษแก้วในแผ่นหินขัดขนาด 30x30x4 ซม. สังเกตการกระจายตัวของเศษแก้วในแผ่นพื้นหินขัดตามส่วนผสมที่มีการผสมเศษแก้วร้อยละ 0, 10, 25, 50, 75 และ 100 แสดงดังรูปที่ 6 ถึงรูปที่ 11

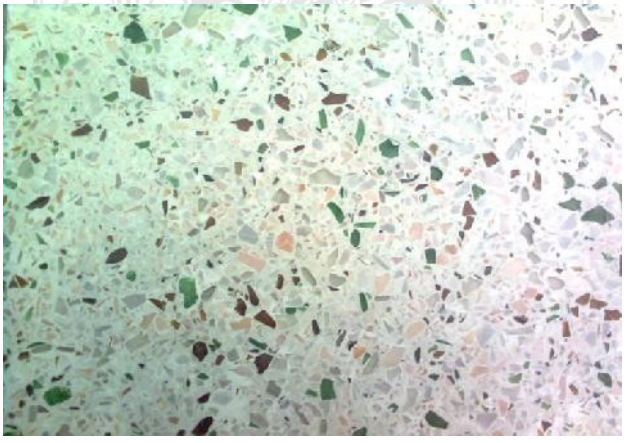
จากการพิจารณาการกระจายของเศษแก้วในแผ่นหินขัด พบว่าสีสันของเศษแก้วเพิ่มขึ้นตามการผสมเศษแก้วที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีสีสันและความสวยงามที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าลักษณะการกระจายและความสวยงามจะมีความแตกต่างกันในทุกส่วนผสม การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความพึงพอใจของผู้ใช้เอง



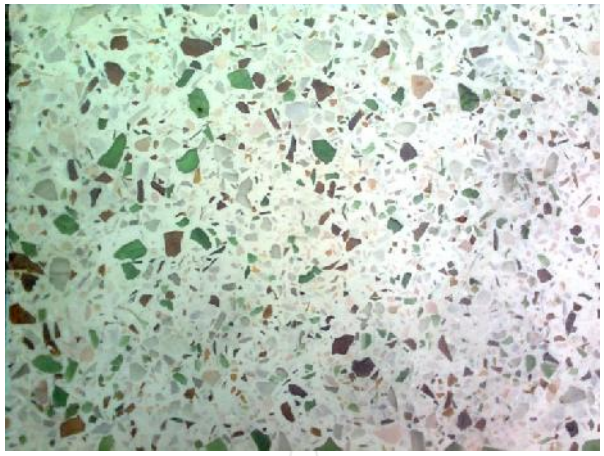
รูปที่ 6 แผ่นพื้นหินขัดผสมเศษแก้วใช้หินเกล็ดล้วน



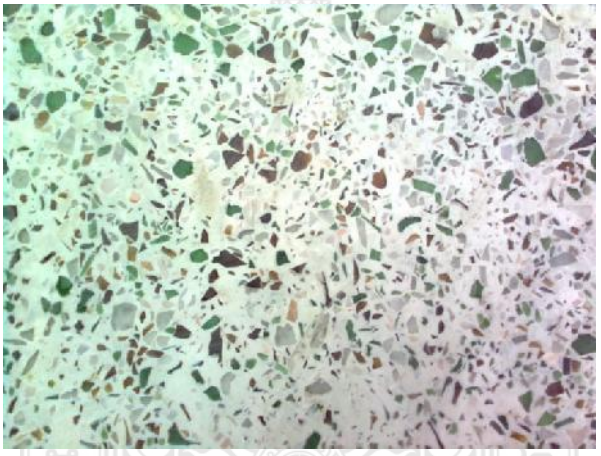
รูปที่ 7 การกระจายตัวของเศษแก้วในพื้นหินขัดผสมเศษแก้วร้อยละ 10



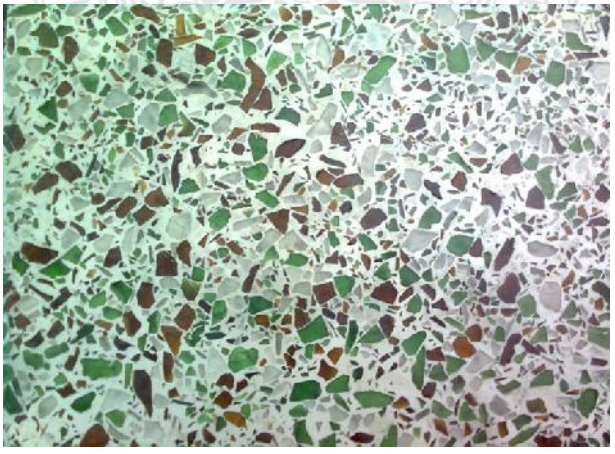
รูปที่ 8 การกระจายตัวของเศษแก้วในพื้นหินขัดผสมเศษแก้วร้อยละ 25



รูปที่ 9 การกระจายตัวของเศษแก้วในพื้นหินขัดผสมเศษแก้วร้อยละ 50



รูปที่ 10 การกระจายตัวของเศษแก้วในพื้นหินขัดผสมเศษแก้วร้อยละ 75



รูปที่ 11 การกระจายตัวของเศษแก้วในพื้นหินขัดผสมเศษแก้วร้อยละ 100

4. สรุป

จากผลการทดลองในงานวิจัย สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กำลังอัดของส่วนผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม และกำลังอัดลดลงตามปริมาณเศษแก้วที่เพิ่มมากขึ้น รูปแบบการวิบัติหลังจากการทดสอบกำลังอัดในทุกอัตราส่วนเป็นการวิบัติผ่านแก้ว เนื่องจากแก้วมีกำลังน้อยกว่ามวลรวม

2. การใช้เศษแก้วร้อยละ 10-50 แผ่นพื้นหินขัดมีความต้านทานต่อการขัดสีลดลงตามปริมาณเศษแก้วเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้เศษแก้วร้อยละ 75 และ 100 พบว่ามีความสามารถต้านทานการขัดสีใกล้เคียงกับแผ่นพื้นหินขัดที่ไม่มีเศษแก้วเป็นส่วนผสม

3. เมื่อพิจารณาด้านกำลังอัดและความต้านทานการขัดสี ปริมาณเศษแก้วที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตแผ่นพื้นหินขัดผสมเศษแก้ว ได้แก่ การใช้ส่วนผสมของเศษแก้วร้อยละ 75

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมโยธาเพื่อชุมชนและอุตสาหกรรม สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และโครงการส่งเสริมการผลิตผลงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินงานนี้

6. เอกสารอ้างอิง

กวี หวังนิเวศน์กุล. 2548. **วัสดุวิศวกรรมก่อสร้าง.** บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

ASTM C 109. 2004. **Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars**. ASTM Standards 4.01. ASTM International. West Conshohocken. PA.

ASTM C 944. 2004. **Standard test method for abrasion resistance of concrete or mortar Surfaces by the rotating-cutter method.** ASTM Standards 4.02. ASTM International. West Conshohocken. PA.

McKinnon, G. 2002. **Stoneway Concrete**. Seattle. WA. Personal Communication.

Concrete Technology Unit. 2003. **Specification for crushed glass as a fine aggregate or filler aggregate for use in concrete**. University of Dundee. Dundee. DD1 4HN.