

ความสามารถทำงานได้ และความสามารถดูดซึมน้ำของนาโนซิลิกากับแร่ใยธรรมชาติ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล

Workability and Water Absorption of Nano-Silica with Natural Fiber to Improve the Properties of Recycled Aggregate Concrete

กานท์ ทะนนท์¹ ศตวรรษ ทฤทธิพงษ์¹ ณรงค์เดช อินทร์นชัยกิจ¹ วชิรภรณ์ เสนาวัง^{2*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย
เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

² สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม

* Corresponding author; E-mail address: tanont.sumet@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอเศษวัสดุที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรม การก่อสร้างมาทำการรีไซเคิล เพื่อนำมาทดแทนมวลรวมหยาบตามธรรมชาติ โดยแทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 0 และ 100 ต่อน้ำหนักของมวลรวมหยาบ ใช้นาโนซิลิกาที่มีขนาดระดับอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 12 นาโนเมตร แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ แร่เส้นใยธรรมชาติที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ เส้นใยป่านครนารายณ์ และเส้นใยปาล์ม น้ำมันที่ใช้มีความยาวของเส้นใย 20 มิลลิเมตร ใส่เพิ่มในตัวอย่างแต่ละชนิด ร้อยละ 3 ต่อน้ำหนักของมวลรวมหยาบ ทดสอบความสามารถทำงานได้ในด้าน การยุบตัว และการไหลตัวของคอนกรีต ส่วนการทดสอบความคงทน ในด้านอัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต จากผลการทดสอบพบว่า การใช้วัสดุนาโนซิลิกา หรือการใช้วัสดุมวลรวมรีไซเคิลจะลดความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตลงอย่างมาก มีค่าการยุบตัวของคอนกรีตอยู่ที่ 5.9-7.3 เซนติเมตร ค่าการไหลของคอนกรีตอยู่ที่ 35-44 เซนติเมตร ซึ่งต้องมีการใช้สารลดน้ำตามปริมาณสัดส่วนที่ใช้เพื่อเพิ่มความสามารถทำงานได้ของคอนกรีต ส่วนผลการทดสอบความคงทนของคอนกรีต ในส่วนการดูดซึมน้ำพบว่า คอนกรีตที่ผสมนาโนซิลิกา มีค่าความสามารถดูดซึมน้ำที่สูงสุด ทั้งการใช้มวลรวมหยาบตามธรรมชาติ และมวลรวมรีไซเคิล มีค่าร้อยละ 10.06 และ 8.87 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติ และคอนกรีตที่ใส่วัสดุเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งสรุปได้ว่าวัสดุนาโนซิลิกาสามารถที่ปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งมวลรวมหยาบตามธรรมชาติ และมวลรวมรีไซเคิล

คำสำคัญ: นาโนซิลิกา, ใยปาล์มน้ำมัน, ใยป่านครนารายณ์, มวลรวมรีไซเคิล

Abstract

This research presents waste materials from the construction industry to be recycled to replace natural coarse

aggregates. This takes the place of the weight of the coarse aggregate divided by a ratio of 0 to 100 percent. Cement was replaced with nano-silica, with an average particle size of about 12 nm., in a ratio of 3 percent of cement weight. Sisal and oil palm fibers with a 20 mm. fiber length were employed in this study and were added to each sample at a rate of 3 percent per weight of coarse aggregate. Evaluate the concrete's workability for concrete flow and slump. Concrete's resistance to water absorption is tested for durability. According to the test results, using recycled aggregates or nano-silica components significantly decreased the workability of concrete. To improve the workability of the concrete The slump value of concrete is 5.9-7.3 cm. the flow rate of fresh concrete is 35-44 cm., a corresponding amount of superplasticizer must be added. In terms of the durability test results for concrete In the water absorption section, it was found that, it was found that nano-silica containing concrete, when compared to normal concrete and concrete made with natural fiber materials, had the maximum water absorption were 10.06 percent, 8.87 percent respectively. It was determined that recycled aggregates and natural coarse aggregates could both improve from the addition of nano-silica components.

Keywords: nano-silica, oil palm fibers, sisal fiber, recycled aggregates

1. คำนำ

“คอนกรีต” เป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายอย่างมากที่สุดในโลกยุคปัจจุบันนี้ ซึ่งก็อาจจะต้องมีส่วนร่วมในการรับผิดชอบต่อทรัพยากรธรรมชาติที่กำลังจะหมดไป เนื่องจากวัสดุที่เป็นส่วนประกอบหลักในมวลรวมธรรมชาติ คือ หิน กรวด เป็นต้น ในขณะที่เดียวกันก็มีการเกิดของเศษคอนกรีตเหลือใช้จำนวนมากจากการรื้อถอนโครงสร้างคอนกรีตเดิมที่มีอายุมากและไม่มีที่ฝังกลบจำนวนที่เพียงพอ สำหรับการกำจัดวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวนี้ ในช่วงเวลาไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา เศษคอนกรีตเหล่านี้จะถูกนำมาบดย่อยและสลาย เพื่อผลิตเป็นมวลรวมชนิดใหม่ขึ้น และจะถูกนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่อย่างมีประสิทธิภาพในหลายประเทศ ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากมวลรวมรีไซเคิล (Recycled Aggregates; RA) เพื่อทดแทนมวลรวมธรรมชาติ (Natural Aggregates; NA) จึงเป็นวิธีแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายที่ประเทศต่างๆ ในโลกต้องเผชิญร่วมกัน ได้แก่ การรักษาทรัพยากรธรรมชาติที่เหลือ การลดต้นทุนการบำบัดของเสียก่อนการกำจัดหรือย่อยสลายและลดมลพิษต่างๆ จากการก่อสร้าง [1]

วัสดุมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (Recycled Concrete Aggregate; RCA) เกิดจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างในงานวิศวกรรมโยธาหรืองานด้านโครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภคต่างๆ เช่น งานอาคาร บ้าน งานถนน เป็นต้น การกระจายขนาดอนุภาคของวัสดุ มีทั้งของส่วนเม็ดหยาบ และส่วนเม็ดละเอียด คือคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของวัสดุ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพและประสิทธิภาพของวัสดุ โดย [2] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้งาน RCA ในชั้นรองพื้นทาง โดยใช้วัสดุคละขนาดที่แตกต่างกัน ซึ่งผลสรุปที่ได้ก็สอดคล้องกับข้อกำหนดขนาดคละของพื้นทาง คันดิน ถนนและสะพานตามมาตรฐาน ASTM D2940, D448, ซึ่ง [3] ได้ทำการพิจารณาพฤติกรรมทางกายภาพของ RCA และได้สังเกตเห็นค่าความหนาแน่นของ RCA ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 2.00 Mg/m^3 และ 2.65 Mg/m^3 ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามจำนวนของซีเมนต์ที่ยึดติดอยู่ตามผิวของวัสดุมวลรวมนั้นๆ RCA มีค่าความพรุนที่มาก จากการเก็บค่าการดูดซึมน้ำของ RCA คืออยู่ระหว่างร้อยละ 3-10 เปรียบเทียบกับวัสดุที่ได้จากธรรมชาติโดยตรง จะมีค่าไม่เกินร้อยละ 3 ดังที่กล่าวมานี้ สามารถสรุปได้ว่า RCA มีอัตราส่วนช่องว่าง ความพรุน และอัตราการซึมผ่านมากกว่าวัสดุมวลรวมธรรมชาติ

[4] ได้ทำการศึกษาลงถึงผลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยปานครนารายณ์ชนิดสั้นให้กับพอลิสไตรีนชนิดความต้านทานสูง (high impact polystyrene; HIPS) โดยใช้เส้นใยในปริมาณต่างๆกัน พบว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยปานครนารายณ์ชนิดสั้น สามารถเพิ่มค่าความต้านทานการเปลี่ยนรูปให้แก่พอลิเมอร์คอมโพสิต แต่มีผลให้ค่าความต้านแรงดึงลดลงตามปริมาณ เส้นใยที่เพิ่มขึ้น และยังพบว่า การเสริมแรงด้วยเส้นใยปานครนารายณ์ชนิดสั้นสามารถเพิ่มค่าความทนแรงกระแทกได้สูงสุดที่ปริมาณเส้นใยเท่ากับร้อยละ 5 และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้น

วัสดุก่อสร้างที่จะสามารถประหยัดต้นทุนและเข้าถึงได้ง่ายสำหรับการใช้งาน [5] โดยที่ส่วนผสมที่เป็นที่นิยมมากสำหรับคอนกรีตในการก่อสร้าง คือ การใช้มวลรวมหยาบที่มีน้ำหนักปกติ ซึ่งส่งผลให้หินธรรมชาติลดลงอย่างมาก ดังนั้นประเทศในเขตร้อนและประเทศที่มีอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม (Oil

Palm Shells; OPS) บางครั้งเรียกว่า Palm Kernel Shells; PKS [6] ได้พบว่ากะลาปาล์มน้ำมัน มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นมวลรวมหยาบเพื่อปรับปรุงคุณภาพของการผลิตคอนกรีต [7]

โดยทั่วไปความสามารถในการรับแรงอัดของ RCA จะสามารถเพิ่มขึ้นโดยการเติมซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume หรือ Micro-silica) ลงไปนั้น [8] เมื่อพิจารณาถึงซิลิกาฟุ้งแล้ว ยังสามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้โดยใช้วัสดุนาโนประเภทของวัสดุซิลิกา ได้แก่ nano-SiO₂ [9], nano-TiO₂ [10], nano-Al₂O₃ [11], nano-Fe₂O₃ [12] และหินปูนนาโน [13] เมื่อเทียบกับวัสดุซิลิกาฟุ้งแล้ว nano-SiO₂ (NS) ถือได้ว่าเป็นสารเคมีที่ใช้บ่อยที่สุดในการปรับปรุงประสิทธิภาพของคอนกรีต [14] อนุภาค NS ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานด้านวิศวกรรมโยธา เนื่องจากมีลักษณะเฉพาะ ได้แก่ ขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากกว่าซิลิกาฟุ้ง พื้นที่ผิวจำเพาะที่ใหญ่ขึ้นและประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ดังนั้นการเติม NS ในปริมาณที่เหมาะสมสำหรับสัดส่วนการผสมของคอนกรีตส่วนใหญ่ จะสามารถทำให้เพิ่มประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตได้

สำหรับงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ที่จะนำอนุภาคสารนาโนซิลิกา มาผสมกับเส้นใยปานครนารายณ์ และเส้นใยปาล์มน้ำมัน เพื่อพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติของมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล โดยเน้นไปที่การศึกษาถึงผลของความสามารถทำงานได้และความสามารถดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล โดยใช้การทดสอบค่ายุบตัว (Slump Test) ทดสอบการไหล (Flow Table Test) ทดสอบ การดูดซึมน้ำของคอนกรีต (Water Absorption Test) ส่วนประโยชน์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษา พัฒนาและต่อยอดการใช้งานวัสดุเหลือใช้ เช่น เศษคอนกรีตเก่าที่เกิดจากการรื้อถอนนำมาพัฒนาประสิทธิภาพ เพื่อมาทดแทนวัสดุมวลรวมธรรมชาติที่กำลังจะหมดไปในอนาคต และยังเป็นการเพิ่มวิธีการกำจัดเศษคอนกรีตเก่าอีกวิธีหนึ่ง แทนการฝัง/กลบ เพื่อลดการทำลายสภาพแวดล้อมอีกทางหนึ่ง

2. วัสดุและวิธีการทดสอบ

2.1 วัสดุ สัดส่วนผสม และการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

2.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

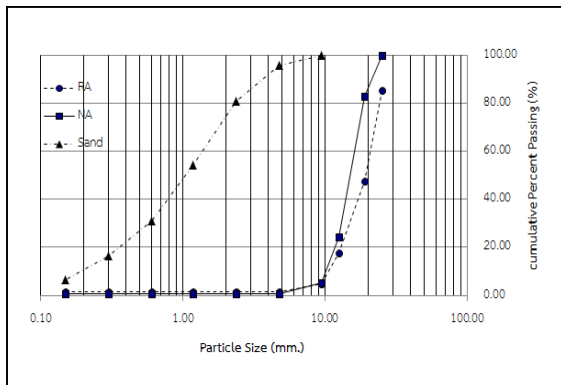
1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC)
2. ทรายเม่น้ำ ที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30 และค้ำตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 100 (ทดสอบคุณสมบัติของทรายตาม ตารางที่ 1 และรูปที่ 1)
3. น้ำสะอาดเพื่อใช้ผสมคอนกรีต
4. อนุภาคสารนาโนซิลิกา (Nano-SiO₂; NS) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ EVONIK ประเทศเยอรมัน มีขนาดอนุภาค 12 นาโนเมตร
5. ใยปานครนารายณ์ (Sisal Fiber; SF) ตัดเส้นใยให้ยาวประมาณ 20 มม. ผ่านกรรมวิธีชำระล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ออก 5% เป็นเวลา 20 นาทีแล้วทำให้แห้ง หลังจากนั้นล้างด้วยกรดอะซิติก 1% เพื่อขจัด NaOH ส่วนเกินออกไป
6. เส้นใยปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Fiber; OPF) ตัดเส้นใยให้ยาวประมาณ 20 มม. ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วนำมาตากแดด

และอบที่อุณหภูมิ 50±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนแห้งสนิท

- มวลรวมธรรมชาติ (Natural Aggregate; NA) ได้รับการคัดเกรดหินผสมคอนกรีต ขนาด 3/4" นำมาผ่านตะแกรงขนาด 1 นิ้ว โดยค้ำตะแกรงเบอร์ 4 (ทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมธรรมชาติตาม ตารางที่ 1 และรูปที่ 1)
- มวลรวมรีไซเคิล (Recycled Aggregate; RA) ได้มาจากการรื้อถอนอาคาร/สิ่งก่อสร้างในพื้นที่เขตสัมพันธวงศ์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร (ทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมรีไซเคิลตาม ตารางที่ 1 และรูปที่ 1)
- สารลดน้ำพิเศษ (Super Plasticizers) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ADVA Cast 207

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของมวลรวมที่นำไปในงานวิจัย

คุณสมบัติวัสดุ	ทราย (SAND)	มวลรวมธรรมชาติ (NA)	มวลรวมรีไซเคิล (RA)
โมดูลัสความละเอียด(FM)	3.15	7.84	8.34
ความถ่วงจำเพาะ(SSD)	2.64	2.71	1.85
ค่าการดูดซึมน้ำ(ร้อยละ)	91	80	5.70
ความหนาแน่นรวม(กก./ลบ.ม.)	1,763	1,501	1,443
เปอร์เซ็นต์ช่องว่าง(ร้อยละ)	33.72	44.95	25.97
ต้านทานการสึกกร่อน(ร้อยละ)	-	26.54	40.23



รูปที่ 1 การกระจายตัวของมวลรวมธรรมชาติและมวลรวมรีไซเคิล

2.1.2 สัดส่วนผสม

งานวิจัยนี้ใช้ก้อนตัวอย่างสำหรับดำเนินการทดสอบรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 0.10x0.10x0.10 เมตร จำนวน 14 ก้อนตัวอย่าง โดยใช้สัดส่วนการผสมทั้งหมด 14 สัดส่วน ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัดส่วนส่วนผสมของก้อนตัวอย่างคอนกรีต

ชื่อตัวอย่าง	สัดส่วนการผสม (กก./ลบ.ม.)								
	ปูนซีเมนต์ (กก.)	ทราย (กก.)	น้ำ (กก.)	W/C	มวลรวมธรรมชาติ (กก.)	มวลรวมรีไซเคิล (กก.)	โพลีเอไมน์	โพลีนาฟตามีน	Nano Silica
R0-0-0-0	350	730	210	0.60	1100	0	0	0	0
R100-0-0-0	350	730	210	0.60	0	1100	0	0	0
R0-3-0-0	350	730	210	0.60	1100	0	12	0	0
R100-3-0-0	350	730	210	0.60	0	1100	12	0	0
R0-0-3-0	350	730	210	0.60	1100	0	0	12	0
R100-0-3-0	350	730	210	0.60	0	1100	0	12	0
R0-0-0-3	340	730	210	0.60	1100	0	0	0	10
R100-0-0-3	340	730	210	0.60	0	1100	0	0	10
R0-3-0-3	340	730	210	0.60	1100	0	12	0	10
R100-3-0-3	340	730	210	0.60	0	1100	12	0	10
R0-0-3-3	340	730	210	0.60	1100	0	0	12	10
R100-0-3-3	340	730	210	0.60	0	1100	0	12	10
R0-3-3-3	340	730	210	0.60	1100	0	12	12	10
R100-3-3-3	340	730	210	0.60	0	1100	12	12	10

หมายเหตุ ตัวอย่างการอ่านค่า R100-3-3-3 หมายถึง อัตราส่วนแทนที่ NA ของ RA คือ จำนวนร้อยละ 100, ปริมาณ SF คือ ร้อยละ 3 ของมวลรวมหายาบ ,ปริมาณ OPF คือ ร้อยละ 3 ของน้ำหนักมวลรวมหายาบ, ปริมาณ NS คือ ร้อยละ 3 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

2.1.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เพื่อให้แน่ใจว่ามีการกระจายตัวของ SF , OPF และ NS อย่างสม่ำเสมอ [15] ในคอนกรีตที่ผสมโดยวิธีการให้ปริมาณแบบแบ่งส่วน ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

- ใส่ RA ลงในน้ำครึ่งหนึ่งแล้วผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาทีในอัตราการผลิต
- เติมอนุภาค NS ลงในน้ำส่วนที่เหลือและกวนอย่างรวดเร็วเป็นเวลา 2 นาที
- ใส่สารละลาย NS ของขั้นตอน (2) ลงในส่วนผสมของขั้นตอนที่ (1) และกวนด้วยอัตราปกติเป็นเวลา 2 นาที
- ใส่ SF และ OPF ลงในปูนซีเมนต์และผสมแห้งในอัตราปกติเป็นเวลา 2 นาที
- ใส่ทรายลงในส่วนผสมแห้งของขั้นตอนที่ (4) แล้วคนให้เข้ากันตามปกติเป็นเวลา 2 นาที
- เพิ่มส่วนผสมแห้งของขั้นตอน (5) ตามด้วยน้ำที่เหลือและ NA ทั้งหมดลงในส่วนผสมของขั้นตอนที่ (3) และผสมเป็นเวลา 3 นาที หลังจากดำเนินการตามขั้นตอนข้างต้นแล้วจะดำเนินการทดสอบหาความสามารถทำงานได้ และความสามารถดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลรวมธรรมชาติและคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล โดยทดสอบค่ายุบตัว (Slump Test) ทดสอบการไหลของคอนกรีตสด (Flow Table Test) และทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีต (Water Absorption Test)

2.2 วิธีการทดสอบ

2.2.1 การทดสอบความสามารถทำงานได้ (ตามมาตรฐาน ASTM

C143 และ BS EN 12350-5)

2.2.1.1 การทดสอบหาค่ายุบตัว (Slump Test; ASTM C143)

- นำอุปกรณ์สำหรับทดสอบจุ่มน้ำให้เปียก
- วางแผ่นเหล็กบนพื้นราบ นำแบบหล่อทรงกรวยขึ้นวาง ใช้เท้าเหยียบปลายทั้งสองข้าง
- ตักคอนกรีตใส่แบบหล่อทรงกรวยโดยแบ่งใส่เป็นสามชั้น ให้ปริมาณแต่ละชั้นเท่าๆกัน โดยแต่ละชั้นให้ตักด้วยเหล็กตักจำนวน 25 ครั้ง เมื่อเต็มแบบหล่อแล้วให้ปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ
- ตั้งแบบหล่อทรงกรวยขึ้นตรงๆแล้ววัดการยุบตัวของคอนกรีต (รูปที่ 2,3,4)

2.2.1.2 การทดสอบการไหลของคอนกรีตสด
(Flow Table Test; BS EN 12350-5)

ทำการทดสอบโดยทำความสะอาดพื้นฐานถาดและแบบหล่อทรงกรวยบรรจุคอนกรีตในแบบหล่อทรงกรวย กระทุ้งเบาๆด้วยไม้กระทุ้งหรือเหล็กกระทุ้ง โดยแบ่งใส่คอนกรีตที่ผสมตามสัดส่วนแล้วในแบบหล่อรูปทรงกรวยเป็นชั้นๆประมาณสามชั้นแต่ละชั้นเท่าๆกัน เมื่อใส่คอนกรีตจนเต็มแล้วให้ปาดคอนกรีตส่วนเกินออก ยกทั้งไม้กระทุ้งหรือเหล็กกระทุ้งขึ้นในแนวตั้งฉากกับพื้นฐานถาดสูงโดยประมาณ 4 เซนติเมตรและปล่อยให้ตกกระทบกับพื้นฐานถาดจำนวน 15 ครั้งในเวลา 1 นาที (รูปที่ 5) แล้ววัดการกระจายของคอนกรีตทั้งสองแกน จะเป็นค่าการไหลและบ่งบอกถึงความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตนั้น (รูปที่ 6,7) แล้วนำค่ามาคำนวณตามสมการ 1.1 ถ้าผลการไหลของคอนกรีตเฉลี่ย 40 เซนติเมตร แสดงถึงคอนกรีตที่มีความสามารถทำงานได้ปานกลาง และถ้ามีการไหลของคอนกรีตเฉลี่ย 50 เซนติเมตร แสดงถึงคอนกรีตที่มีความสามารถทำงานได้สูง

$$Flow, (\text{ซม.}) = \frac{d1 - d2}{2} \quad (1.1)$$

เมื่อ

$d1$ หมายถึง ขนาดสูงสุดของการไหลคอนกรีต ขนานกับแกน X (ซม.)

$d2$ หมายถึง ขนาดสูงสุดของการไหลคอนกรีต ขนานกับแกน Y (ซม.)

2.2.2 การทดสอบความสามารถดูดซึมน้ำของคอนกรีต

(ตามมาตราฐาน ASTM C642 (2006))

การทดสอบความสามารถการดูดซึมน้ำของคอนกรีตของงานวิจัยนี้ ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C642 (2006) โดยเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบเริ่มต้นด้วยการนำส่วนผสมทั้ง 14 สัดส่วนที่ออกแบบไว้แล้ว มาเทในแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 0.10x0.10x0.10 เมตร แล้วบดอัดด้วยค้อนบดอัดจำนวน 3 ชั้นๆละ 25 ครั้ง หลังจากนั้นแกะก้อนตัวอย่างออกจากแบบหล่อและบ่มในอากาศจนครบอายุ 7 และ 28 วัน หลังจากครบอายุการบ่ม ทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักของก้อนตัวอย่าง จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้ว จากนั้นนำก้อนตัวอย่างออกจากตู้อบ พร้อมชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปแช่น้ำอีกเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักในน้ำ เมื่อครบกำหนดน้ำหนักก้อนตัวอย่างขึ้นมาเช็ดด้วยผ้าแห้ง แล้วนำมาชั่ง

น้ำหนักเพื่อหาค่าความสามารถดูดซึมน้ำของคอนกรีตจากก้อนตัวอย่างคอนกรีต ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 1.2 และ 1.3

$$Porosity, (\%) = \frac{W_{ssd} - W_{od}}{W_{ssd} - W_{sat}} \times 100 \quad (1.2)$$

$$Absorption, (\%) = \frac{W_{ssd} - W_{od}}{W_{od}} \times 100 \quad (1.3)$$

เมื่อ

$Porosity$ หมายถึง ขนาดโพรงในคอนกรีต (ร้อยละ)

$Absorption$ หมายถึง การดูดซึมน้ำของคอนกรีต (ร้อยละ)

W_{ssd} หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างหลังการแช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมงแล้วเช็ดด้วยผ้าแห้ง (กรัม)

W_{od} หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างหลังอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กรัม)

W_{sat} หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างขณะที่ชั่งน้ำหนักในน้ำ (กรัม)

3. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

3.1 ผลทดสอบความสามารถทำงานได้ และความสามารถดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลรวมธรรมดาและคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล

ตารางที่ 3 ค่าความสามารถทำงานได้ และความสามารถดูดซึมน้ำคอนกรีตมวลรวมธรรมดาและคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล

ชื่อตัวอย่างวัสดุ	Slump Test (ซม.)	Flow Table Test (ซม.)	Porosity (ร้อยละ)	Absorption (ร้อยละ)
R0-0-0-0	12.3	53	7.96	3.37
R100-0-0-0	10.2	50	9.14	4.16
R0-3-0-0	7.9	44	7.96	3.56
R100-3-0-0	7.7	42	9.55	4.49
R0-0-3-0	7.0	38	12.83	6.15
R100-0-3-0	6.8	37	10.91	5.17
R0-0-0-3	7.3	44	11.44	5.10
R100-0-0-3	7.2	43	14.27	6.79
R0-3-0-3	7.4	40	11.82	5.50
R100-3-0-3	7.2	40	9.75	4.74
R0-0-3-3	6.6	42	14.00	6.53
R100-0-3-3	6.5	40	15.70	7.80
R0-3-3-3	6.2	37	19.57	10.06
R100-3-3-3	5.9	35	16.99	8.87



รูปที่ 2 ทดสอบการยุบตัว (Slump Test)



รูปที่ 6 ทดสอบการไหลของคอนกรีตสด



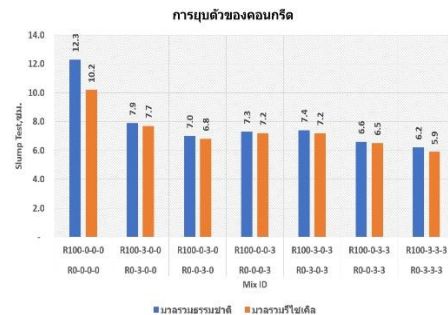
รูปที่ 3 ทดสอบการยุบตัว (Slump Test)



รูปที่ 7 ทดสอบการไหลของคอนกรีตสด



รูปที่ 4 ทดสอบการยุบตัว (Slump Test)



รูปที่ 8 ผลการทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test)

จากตารางที่ 3 และรูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีตนั้นสามารถแบ่งจำนวนพวกของการยุบตัวได้ 3 ประเภทหลักๆ ดังนี้ ($w/c = 0.60$)

1. ประเภทก้อนตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติและอนุภาคสารนาโนซิลิกา มีค่าการยุบตัวของ NA เท่ากับ 12.3 ซม. และ RA เท่ากับ 10.2 ซม. ซึ่ง RA มีค่าการยุบตัวลดลงประมาณ 2.1 ซม. จาก NA
2. ประเภทก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติบางตัว เช่น ใยป่านศรนารายณ์หรือ ใยปาล์ม จากคอนกรีตทั้งสองชนิด ได้ค่าการยุบตัวทั้งสองประเภทจะลดลงจะอยู่ที่ประมาณตั้งแต่ 6.8–7.9 ซม.
3. ประเภทก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติกับอนุภาคสารนาโนซิลิกาผสมรวมกัน จากคอนกรีตทั้งสองชนิด ได้ค่าการยุบตัวทั้งสองประเภทจะลดลงจะอยู่ที่ประมาณตั้งแต่ 5.9–7.3 ซม.



รูปที่ 5 ทดสอบการไหลของคอนกรีตสด (Flow Table Test) โดยใช้เหล็กกระทุ้งยกสูง 4 ซม. แล้วปล่อยลงมากระทบพื้นฐานถาดจำนวน 15 ครั้งภายใน 1 นาที เพื่อวัดค่าการไหลของคอนกรีตทั้ง 2 แกน



รูปที่ 9 ผลการทดสอบการไหลของคอนกรีตสด (Flow Table Test)

จากตารางที่ 3 และรูปที่ 9 แสดงผลการทดสอบค่าการไหลของคอนกรีตสดนั้น สามารถแบ่งจำนวนพิกัดการไหลตัวของคอนกรีตได้ 3 ประเภทหลักๆ ดังนี้ ($w/c = 0.60$)

1.ประเภทก้อนตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติ และอนุภาคสารนาโนซิลิกาของคอนกรีตทั้งสองชนิด ซึ่งค่าการไหลของคอนกรีตจะอยู่ที่ประมาณตั้งแต่ 53 ซม. และ 50 ซม. ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มีความสามารถเทได้ปานกลางถึงสูง (ผลการไหลของคอนกรีตเฉลี่ย 50 ซม. แสดงถึงคอนกรีตที่มีความสามารถทำงานได้สูง)

2.ประเภทก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติบางตัว เช่น ใยป่านครนารายณ์ หรือใยปาล์มของคอนกรีตทั้งสองชนิด จะอยู่ที่การไหลของคอนกรีตประมาณตั้งแต่ 37-44 ซม. ซึ่งค่าการไหลของ NA ค่าเฉลี่ย 41 ซม. และ RA ค่าเฉลี่ย 39.5 ซม. อยู่ในเกณฑ์มีความสามารถทำงานได้ปานกลางถึงต่ำ (ผลการไหลของคอนกรีตเฉลี่ยน้อยกว่า 40 ซม. แสดงถึงคอนกรีตที่มีความสามารถทำงานได้ปานกลางถึงต่ำ) อาจจะใช้เครื่องมือช่วยในการเทคอนกรีตหรือต้องปรับเปลี่ยน mix design ใหม่ โดยอาจเปลี่ยนชนิดของเส้นใยธรรมชาติที่มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อย และเพิ่มปริมาณของสารลดน้ำเพื่อเพิ่มความสามารถทำงานได้ให้มากขึ้น

3.ประเภทก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติกับอนุภาคสารนาโนซิลิกาผสมรวมกันของคอนกรีตทั้งสองชนิด ซึ่งค่าการไหลของคอนกรีตจะอยู่ที่ประมาณตั้งแต่ 35-44 ซม. ซึ่งค่าการไหลของ NA เฉลี่ย 40.75 ซม. และ RA เฉลี่ย 39.5 ซม. (ผลการไหลของคอนกรีตเฉลี่ยน้อยกว่า 40 ซม. แสดงถึงคอนกรีตที่มีความสามารถทำงานได้ปานกลางถึงต่ำ) อยู่ในเกณฑ์มีความสามารถทำงานได้ปานกลางถึงต่ำ อาจจะใช้เครื่องมือช่วยในการเทคอนกรีตหรือต้องปรับเปลี่ยนสัดส่วนผสมของ mix design ใหม่ โดยอาจเปลี่ยนชนิดของเส้นใยธรรมชาติที่มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยแทน และเพิ่มปริมาณของสารลดน้ำพิเศษ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถทำงานได้ให้มากขึ้น



รูปที่ 10 ร้อยละขนาดโพรงในคอนกรีต

จากตารางที่ 3 และรูปที่ 10 แสดงผลร้อยละขนาดโพรงในคอนกรีตนั้น สามารถแบ่งจำนวนพิกัดโพรงในคอนกรีตได้ 3 ประเภท ดังนี้

1.ประเภทก้อนตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติและอนุภาคสารนาโนซิลิกา ซึ่งค่าร้อยละขนาดโพรงในคอนกรีตจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 7.96 ซม. สำหรับ NA และร้อยละ 9.14 ซม. สำหรับ RA ซึ่งค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันมาก แต่อาจจะน้อยไปสำหรับค่ามาตรฐาน (ปริมาณโพรง อยู่ระหว่างร้อยละ 15-35 โดยปริมาตร [16])

2.ประเภทก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติบางตัว เช่น ใยป่านครนารายณ์ หรือใยปาล์ม ซึ่งค่าร้อยละขนาดโพรงในคอนกรีตสำหรับ NA จะมีนัยยะสำคัญในก้อนตัวอย่างที่ผสมใยปาล์มเท่ากับร้อยละ 13.83 ซึ่งมีค่าสูงกว่าก้อนตัวอย่าง NA ที่สัดส่วนผสมอื่น

3.ประเภทก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติกับอนุภาคสารนาโนซิลิกาผสมอยู่รวมกัน ซึ่งค่าร้อยละขนาดโพรงในคอนกรีตสำหรับ NA นั้นในส่วนผสมที่มีใยธรรมชาติและอนุภาคสารนาโนซิลิกาผสมอยู่ด้วยนั้นจะมีอัตราร้อยละขนาดโพรงที่สูงขึ้นตามปริมาณส่วนผสมที่ผสมเข้าไป ซึ่งมากที่สุดจะเป็นการผสมครบทั้งสามชนิดได้ร้อยละ 19.57 สำหรับ RA นั้น จะมีอัตราร้อยละขนาดโพรงที่เพิ่มขึ้นทุกส่วนผสม แต่จะมีนัยยะสำคัญที่ส่วนผสมใยป่านครนารายณ์กับอนุภาคสารนาโนซิลิกา ซึ่งจะได้ที่ลดลงเมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่น เท่ากับร้อยละ 9.75



รูปที่ 11 ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีต

จากตารางที่ 3 และรูปที่ 11 แสดงผลร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตนั้นสามารถแบ่งจำนวนพิกัดการดูดซึมน้ำของคอนกรีตได้ 3 ประเภท ดังนี้

1.ประเภทก้อนตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติและสารอนุภาคนาโนซิลิกา ซึ่งค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 3.37 ซม. สำหรับ NA และร้อยละ 4.16 ซม. สำหรับ RA ซึ่งค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันมาก แต่อาจจะมากไปสำหรับค่ามาตรฐานของ NA (อยู่ไม่เกิน

ร้อยละ 3 โดยปริมาตร สำหรับ NA และอยู่ระหว่างร้อยละ 3-10 โดยปริมาตรสำหรับ RA [3])

2.ประเภทก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติบางตัว เช่น ในก้อนตัวอย่างส่วนผสมใยปาล์ม ซึ่งค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตสำหรับ NA , RA เท่ากับร้อยละ 6.66 , 5.17 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าก้อนตัวอย่างส่วนผสมใยป่านทรนารายณ์ เท่ากับร้อยละ 3.56 , 4.49 ตามลำดับ

3.ประเภทก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติกับสารอนุภาคสารนาโนซิลิกาผสมอยู่รวมกัน ซึ่งค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตสำหรับ NA นั้นมีอัตราการเพิ่มขึ้นของร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตทุกส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 5.10 , 5.50 , 6.53 และ 10.06 ตามลำดับ สำหรับ RA นั้นจะมีนัยยะสำคัญที่ลดส่วนผสมใยป่านทรนารายณ์กับอนุภาคสารนาโนซิลิกา เท่ากับร้อยละ 4.74 ซึ่งจะได้ที่ค่าลดลงเมื่อเทียบจากส่วนผสมอื่น

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาความสามารถทำงานได้และความสามารถดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลรวมธรรมชาติและคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลสามารถสรุปผลได้ดังนี้

4.1 การทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test) ในก้อนตัวอย่างของ NA และ RA ที่มีส่วนผสมของใยธรรมชาติและอนุภาคสารนาโนซิลิกาผสมอยู่ นั้นมีค่าการยุบตัวของคอนกรีตอยู่ระหว่าง 5.9-7.2 ซม. ซึ่งทำให้ความสามารถทำงานได้ลดลงอย่างมาก อันเนื่องมาจากเศษคอนกรีต, ใยธรรมชาติและนาโนซิลิกา ทั้งสามอย่างนี้มีการดูดซึมน้ำมากกว่าหินจากธรรมชาติ ซึ่งส่วนผสมนี้ น่าจะเหมาะสำหรับงานถนน ซึ่งมีค่าการยุบตัวอยู่ที่ 5.0 ± 2.5

4.2 การทดสอบการไหลของคอนกรีตสด (Flow Table Test) ในก้อนตัวอย่างของ RA ที่มีส่วนผสมของใยธรรมชาติและอนุภาคสารนาโนซิลิกานั้น ค่าการไหลตัวของคอนกรีตอยู่ในช่วงความสามารถทำงานได้ปานกลางถึงต่ำอยู่ระหว่าง 35-44 ซม. อาจเนื่องมาจากเศษคอนกรีต, ใยธรรมชาติและอนุภาคสารนาโนซิลิกา ทั้งสามอย่างนี้มีการดูดซึมน้ำมากกว่าหินธรรมชาติ ซึ่งส่วนผสมนี้ น่าจะเหมาะสำหรับงานถนน แต่อาจต้องเน้นวิธีการทำงานโดยใช้เครื่องจี้คอนกรีต หรืออาจปรับค่า W/C หรือเพิ่มปริมาณของสารลดน้ำ เพื่อช่วยเพิ่มขีดความสามารถทำงานได้ดีขึ้น

4.3 การทดสอบค่าร้อยละขนาดโพรงในคอนกรีต (Porosity) ในส่วนก้อนตัวอย่างของ RA นั้น ค่าร้อยละขนาดโพรงในคอนกรีตที่มีนัยยะสำคัญที่จะพัฒนาเป็นคอนกรีตพรุนได้นั้น (ปริมาณโพรงของคอนกรีตพรุน อยู่ระหว่างร้อยละ 15-35 โดยปริมาตร [16]) คือ RA ที่ส่วนผสมใยปาล์มกับอนุภาคสารนาโนซิลิกา ร้อยละ 15.70 และ RA ที่ส่วนผสมใยธรรมชาติและอนุภาคสารนาโนซิลิกา ร้อยละ 16.99 ซึ่งค่าร้อยละขนาดโพรงในคอนกรีตสำหรับก้อนตัวอย่าง NA นั้น ที่ส่วนผสมที่มีใยธรรมชาติและอนุภาคสารนาโนซิลิกาผสมอยู่ด้วยนั้น จะมีอัตราร้อยละขนาดโพรงที่สูงขึ้นตามปริมาณส่วนผสมที่ผสมเข้าไป ซึ่งมากที่สุดจะเป็นการผสมครบทั้งสามชนิดได้ร้อยละ 19.57 ซึ่งสามารถพัฒนาส่วนผสมนี้ของ NA ในอนาคตเพื่อเป็นคอนกรีตพรุนต่อไป

4.4 การทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีต (Absorption) ในส่วน RA นั้น ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่เหมาะสมนั้น (ค่าการดูดซึมน้ำของ RA คืออยู่ระหว่างร้อยละ 3-10 และ NA จะมีค่าไม่เกินร้อยละ 3 [3]) จะอยู่ที่ส่วนผสม RA กับอนุภาคสารนาโนซิลิกา , ส่วนผสม RA กับใยปาล์มและอนุภาคสารนาโนซิลิกา , ส่วนผสม RA กับใยธรรมชาติและอนุภาคสารนาโนซิลิกา เท่ากับร้อยละ 6.79 , 7.80 และ 8.87 โดยปริมาตร สำหรับ NA นั้น ทุกส่วนผสมของ NA (ยกเว้น NA ควบคุม) มีค่าการดูดซึมน้ำในคอนกรีตเพิ่มขึ้นทุกสัดส่วนผสม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย ที่สนับสนุนอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย, ดร.ศตวรรษ ฤทธิ์พรพงศ์ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่ให้ความรู้และแนวทางในการทำวิจัยงานนี้ให้คล่องไปด้วยดี และสุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณทางครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยสนับสนุนด้วยดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bravo, M., Brito, J.D., Pontes, J., Evangelista, L. (2015). Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants. *Journal of Cleaner Production*, Vol 99, pp.59-74.
- [2] Kou, S.C., Poon, C.S., Chan, D. (2008). Influence of fly ash as a cement addition on the hardened properties of recycled aggregate concrete. *Materials and Structures*, Vol 41, pp.1191-1201.
- [3] Li, W., Long, C., Tam, V.W.Y., Poon, C.S., Duan, W.H. (2017b). Effects of nano-particles on failure process and microstructural properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, Vol 142, pp.42-50.
- [4] P. Antich, A. Vazquez, I. Mondragon and C. Bernal (2006). Mechanical behavior of high impact polystyrene reinforced with short sisal fibers. *Composite: Part A*, Vol 37, pp.139-150 .
- [5] Davis, R.E. (1950). "Use of pozzolans in concrete", *Journal of the American Concrete Institute*, Vol. 46, pp.377-384.
- [6] Haruehansapong, S., Pulngern, T., and Chucheeprakul, S. (2011). Compressive Strength and Microstructure of Cement Mortar with Nano-SiO₂. *Construction and Building Materials*, Vol 50, pp.471 -477.
- [7] Tao Ji, Ammar Mirzayee, Zahra Zangeneh-Madar, Ebrahim Zangeneh-Madar. (2009). "Preliminary study on water infiltration of concrete containing nano-SiO₂ and silicon"

International Congress on Civil Engineering, Shiraz University, Vol. 8, pp.11-16.

- [8] Kou, S.C., Poon, C.S., Chan, D. (2008). Influence of fly ash as a cement addition on the hardened properties of recycled aggregate concrete. *Materials and Structures*, Vol 41, pp.1191-1201.
- [9] Behera, M., Bhattacharyya, S.K., Minocha, A.K., Deoliya, R., Maiti, S. (2014). Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete-A breakthrough towards sustainability in construction sector: a review. *Construction and Building Materials*, Vol 68, pp.501-516.
- [10] Bernal, J., Reyes, E., Massana, J., Le_on, N., S_anchez, E. (2018). Fresh and mechanical behavior of a self-compacting concrete with additions of nano-silica, silica fume and ternary mixtures. *Construction and Building Materials*, Vol 160, pp.196-210.
- [11] Branston, J., Das, S., Kenno, S.Y., Taylor, C. (2016). Mechanical behaviour of sisal fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, Vol 124, pp.878-886.
- [12] Bravo, M., Brito, J.D., Pontes, J., Evangelista, L. (2015). Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants. *Journal of Cleaner Production*, Vol 99, pp.59-74.
- [13] Carneiro, J.A., Lima, P.R.L., Leite, M.B., Filho, R.D.T. (2014). Compressive stress-strain behavior of steel fiber reinforced-recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, Vol 46, pp.65-72.
- [14] Chan, R., Santana, M.A., Oda, A.M., Paniguel, R.C., Vieira, L.B., Figueiredo, A.D., Galobardes, I. (2019). Analysis of potential use of fibre reinforced recycled aggregate concrete for sustainable pavements. *Journal of Cleaner Production*, Vol 218, pp.183-191.
- [15] Dong, J.F., Wang, Q.Y., Guan, Z.W. (2017). Material properties of basalt fibre reinforced concrete made with recycled earthquake waste. *Construction and Building Materials*, Vol 130, pp. 241-251.
- [16] วันชัย สะตะ และปริญญา จินดาประเสริฐ (2559). “คอนกรีตพูน : คอนกรีตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” *วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย*, ปีที่ 10 , ฉบับที่ 29 , หน้า 1.