

## กำลังและความคงทนของคอนกรีตที่ใช้การแทนที่ทรายด้วยมวลรวมเศษขยะพลาสติก Strength and Durability of Concrete Using Sand Replacement with Plastic Waste Aggregate

อัญชญา กิจจานนท์<sup>1</sup> ลีน่า ปรัก<sup>1</sup> ทวีชัย สำราญวานิช<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอ  
คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง  
จังหวัดชลบุรี 20131

Aunchana Kijjanon<sup>1</sup> Lyna Prak<sup>1</sup> Taweechai Sumranwanich<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology,  
Thanyaburi, Khlong Hok Subdistrict, Khlong Luang District, Pathum Thani Province 12120

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, Thanon Long Had  
Bangsaen, Saen Suk, Chon Buri District, Chon Buri 20131

\*Corresponding author Email: twc@buu.ac.th

(Received: May 7, 2025; Revised: September 15, 2025; Accepted: January 21, 2026)

### บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งศึกษาผลการแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในคอนกรีตด้วยเศษขยะพลาสติกต่อกำลังอัด กำลังดัด กำลังดึงแบบผ่าซีก ความต้านทานการขีดสี การนำความร้อน การแทรกซึมคลอไรด์แบบแรงและการแทรกซึมคลอไรด์แบบแพร่ทั้งหมดเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ โดยใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก 3 ชนิด ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) พอลิโพรไพลีน (PP) และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 จากผลการทดลองพบว่า กำลังอัด กำลังดัด และกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่มวลรวมเศษขยะพลาสติกเพิ่มขึ้น คอนกรีตผสม PVC ร้อยละ 10 มีค่ากำลังสูงสุดและมีกำลังอัดมากกว่า 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสามารถใช้กับงานก่อสร้างทางเท้าและทางจักรยาน เมื่อพิจารณาความคงทนพบว่า การใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกช่วยเพิ่มความต้านทานการขีดสี โดยการใช้ PVC ร้อยละ 30 มีความต้านทานการขีดสีสูงสุด การนำความร้อนของคอนกรีตลดลงอย่างมากเมื่อใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก โดยการใช้ PVC ร้อยละ 10 มีค่าต่ำสุดเพียง 0.148 W/mK หรือลดลงจากคอนกรีตควบคุมร้อยละ 83.3 คอนกรีตผสม PET หรือ PP ร้อยละ 10 มีการแทรกซึมคลอไรด์ในระดับสูง ขณะที่คอนกรีตผสม PVC ร้อยละ 10 มีการแทรกซึมคลอไรด์ระดับปานกลาง

**คำสำคัญ:** เศษขยะพลาสติก กำลังอัด ความต้านทานการขีดสี การแทรกซึมคลอไรด์

## ABSTRACT

This paper aims to study the effect of plastic waste as a partial fine aggregate replacement in concrete on compressive strength, flexural strength, splitting tensile strength, abrasion resistance, thermal conductivity, rapid chloride penetration, and bulk chloride diffusion of concrete with natural aggregate. There were three types of plastic waste aggregate: polyvinyl chloride (PVC), polypropylene (PP), and polyethylene terephthalate (PET). Fine aggregate was partially replaced by plastic waste aggregate at 10%, 20%, and 30% by volume of fine aggregate. The water-to-binder ratio of 0.50 was used. The study results found that the compressive strength, flexural strength, and splitting tensile strength of concrete decreased as the amount of plastic waste aggregate replacement increased. Concrete containing 10% PVC achieved the highest strength values and had a compressive strength of 210 kg/cm<sup>2</sup>, being applied for the construction of pavement and bicycle paths. By considering durability, it was found that utilizing plastic waste aggregates improved the abrasion resistance of concrete, particularly with 30% PVC, which provided the highest resistance. Thermal conductivity decreased significantly with the incorporation of plastic waste aggregates, with 10% PVC achieving the lowest value of 0.148 W/mK, representing an 83.3% reduction compared to the controlled concrete. Concretes containing 10% of PET or PP had high chloride penetrability, whereas concrete containing 10% PVC had moderate chloride penetrability.

**Keywords:** Plastic waste, compressive strength, abrasion resistance, chloride penetration resistance.

## 1. บทนำ

ประเทศไทยจัดอยู่ในลำดับที่ 5 ของโลกในด้านปริมาณการก่อกองขยะพลาสติกต่อประชากร โดยชนิดขยะพลาสติกที่พบมาก ได้แก่ พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) และ พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) พลาสติกเหล่านี้หากกลายเป็นขยะจะต้องใช้เวลาย่อยสลายนานกว่า 450 ปีจึงจะสลายหมด ส่งผลให้เกิดการสะสมของขยะพลาสติกจำนวนมาก ซึ่งสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในด้านปัญหาการจัดการที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมดในทันที ตลอดจนการใช้พื้นที่จัดเก็บขยะที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความจำเป็น เพื่อส่งเสริมการ

รีไซเคิล ลดการใช้พลังงาน ลดมลพิษ และรักษาทรัพยากรธรรมชาติ

ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง คอนกรีตเป็นวัสดุหลักที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีการใช้ทรายและหิน ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติในปริมาณสูง โดยเฉพาะทรายที่มีสัดส่วนร้อยละ 20-35 ของปริมาตรคอนกรีตทั้งหมด ความต้องการที่สูงทำให้เกิดการขุดทรายอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับการใช้งาน ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ เช่น การทำลายแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต การกัดเซาะตลิ่ง การเกิดน้ำท่วม และการเสื่อมสภาพของแหล่งน้ำ

เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีความพยายามในการนำเศษขยะพลาสติกมาใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานคอนกรีต โดยเฉพาะการแทนที่ทรายบางส่วน ซึ่งช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ลดผลกระทบต่อระบบนิเวศ และแก้ไขปัญหาการสะสมของขยะพลาสติก อีกทั้งยังช่วยประหยัด

พลังงาน ลดการใช้ทรัพยากรใหม่ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเปลี่ยนขยะพลาสติกจากปัญหาสิ่งแวดล้อมให้กลายเป็นทรัพยากรที่เป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง การใช้วัสดุหมุนเวียนจึงมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมก่อสร้างที่ยั่งยืน และเป็นการรักษาทรัพยากรธรรมชาติให้คงอยู่ต่อไป [1] จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีศึกษาผลของการใช้ขยะพลาสติกในคอนกรีตทั้งต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตแข็งตัวตั้งนี้ ในด้านกำลังอัด การแทนที่มวลรวมด้วยพลาสติกทำให้กำลังอัดลดลง ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณพลาสติกที่ใช้ (เช่น PET, HDPE, PP, PVC) [1–6] ในด้านกำลังดึงและกำลังตัด การใช้ขยะพลาสติกในคอนกรีตทำให้กำลังดึงและกำลังตัดลดลงเมื่อใช้พลาสติกในปริมาณสูง แต่ในปริมาณต่ำ ( $\leq 10\%$ ) ยังอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และในบางกรณีพลาสติก HDPE อาจช่วยเพิ่มแรงดึงจากคุณสมบัติการยึดตัว [1, 6] ในด้านความคงทน การใช้พลาสติกในคอนกรีตมีข้อจำกัดด้านความทนทาน เช่น ความไวต่อการกัดกร่อนทางเคมี การซึมน้ำ การกัดกร่อนจากคลอไรด์ และความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมกรด-ด่าง [2, 4] ในด้านคุณสมบัติทางความร้อน การใช้พลาสติกช่วยลดการนำความร้อนและเพิ่มคุณสมบัติการเป็นฉนวน (กันความร้อนและเสียง) [4] ในด้านความสามารถในการทำงานได้ การใช้ขยะพลาสติกในปริมาณที่เพิ่มขึ้นบางครั้งทำให้ความสามารถในการทำงานลดลงตามปริมาณพลาสติก แต่บางงานวิจัยพบว่า PET ในรูปเม็ดบดบางขนาดช่วยเพิ่ม Workability ได้ [5–6] และในด้านความหนาแน่น ขยะพลาสติกมีความหนาแน่นต่ำกว่ามวลรวมธรรมชาติ จึงทำให้คอนกรีตที่ใช้ขยะพลาสติกแทนที่มีความหนาแน่นลดลงประมาณร้อยละ 46 เนื่องจากความหนาแน่นของพลาสติกต่ำกว่ามวลรวมธรรมชาติ โดยขึ้นกับชนิดและปริมาณของพลาสติก [2, 4, 6]

Olofinnade et al. [3] ได้ศึกษาการใช้ขยะพลาสติกแทนที่มวลรวมหายาในคอนกรีตและพบว่า แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุประสานและอนุภาคพลาสติกไม่ดี เนื่องจากพื้นผิวของพลาสติกเรียบและมัน ส่งผลให้คุณสมบัติ

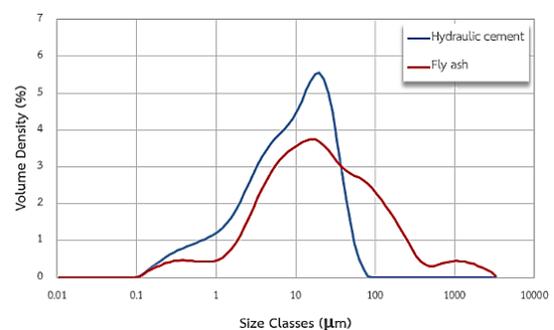
คอนกรีตโดยรวมลดลง โดยเฉพาะเมื่อใช้ในปริมาณสูง ดังนั้นการใช้ขยะพลาสติกยังไม่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตกำลังสูง เช่น ถนนคอนกรีตหรือโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่สามารถประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีตกำลังต่ำ เช่น ทางเท้าหรือทางจักรยานได้

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาเน้นเพียงด้านใดด้านหนึ่ง เช่น ความแข็งแรง ความต้านทานการกัดกร่อน หรือคุณสมบัติการนำความร้อน ดังนั้น บทความนี้จึงมุ่งศึกษาผลของการแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนด้วยเศษพลาสติกสามชนิด ได้แก่ PVC, PP และ PET ต่อคุณสมบัติเชิงกล (กำลังอัด กำลังดึง กำลังดึงแบบผ่าซีก และความต้านทานการขีดสี) คุณสมบัติทางความร้อน และคุณสมบัติด้านความคงทน (เช่น ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ทั้งแบบแรงและแบบแพร่) เพื่อหาแนวทางการใช้คอนกรีตผสมขยะพลาสติกในงานก่อสร้างทางจักรยานต้นแบบขนาดเล็กอย่างเหมาะสม

## 2. วิธีการศึกษา

### 2.1 วัสดุประสาน

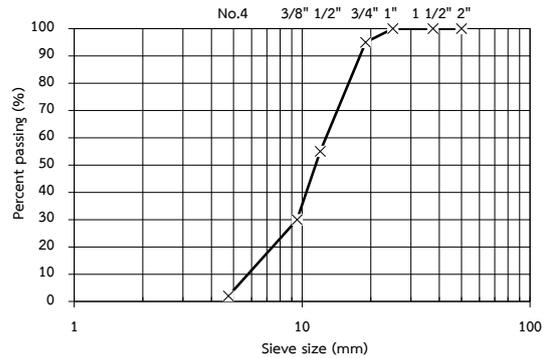
ใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกประเภท GU (General use) ตามมาตรฐาน มอก.2594-2556 [7] และใช้เถ้าลอยชั้นคุณภาพ C ตามมาตรฐาน ASTM C618-19 [8] โดยองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกและเถ้าลอยแสดงในตารางที่ 1 ส่วนการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกและเถ้าลอยแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกและเถ้าลอย

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุประสาน

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก	เถ้าลอย
SiO <sub>2</sub>	13.63	28.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.67	13.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.31	14.88
CaO	66.20	27.11
MgO	1.12	1.90
SO <sub>3</sub>	1.90	6.11
Na <sub>2</sub> O	0.31	1.50
K <sub>2</sub> O	0.35	2.53
LOI	6.78	3.18
<b>คุณสมบัติทางกายภาพ</b>		
ความถ่วงจำเพาะ	3.14	2.56
พื้นที่ผิวจำเพาะ (m <sup>2</sup> /kg)	254.3	315.7



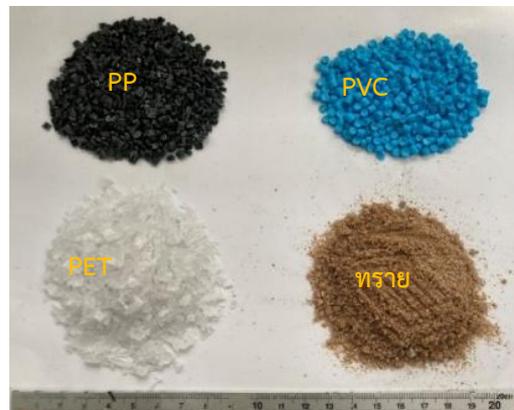
รูปที่ 3 ขนาดคละของมวลรวมหยาบ



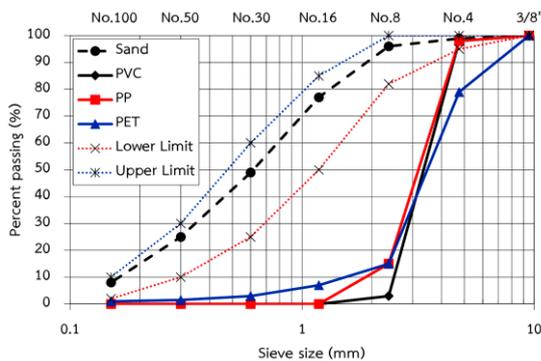
รูปที่ 4 มวลรวมหยาบ

2.2 มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

ใช้ทรายบกเป็นมวลรวมละเอียด และใช้หินปูนขนาดโตสุดไม่เกิน 19 มิลลิเมตร เป็นมวลรวมหยาบ โดยรูปที่ 2 และ 3 แสดงขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมพลาสติก และมวลรวมหยาบตามลำดับ ส่วนรูปที่ 4 และ 5 แสดงลักษณะหินและทรายที่ใช้ ตามลำดับ ส่วนตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมและมวลรวมเศษขยะพลาสติก



รูปที่ 5 มวลรวมเศษขยะพลาสติกและมวลรวมละเอียด



รูปที่ 2 ขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมเศษขยะพลาสติก

2.3 มวลรวมเศษขยะพลาสติก

มวลรวมเศษขยะพลาสติกทั้งสามชนิด ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิเอทิลีน เทเรพทาเลต (PET) ตามที่แสดงในรูปที่ 5 ได้รับการจัดหาจากบริษัท โกลบอล พลาส เซ็นเตอร์ จำกัด โดยเศษพลาสติก PVC มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 3.0 -3.5 มม. เศษพลาสติก PP มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 3.0 -3.5 มม. และเศษพลาสติก PET มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 3.0 -4.0 มม.

ที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2569

การกระจายขนาดคละของอนุภาคมวลรวมเศษขยะพลาสติกแสดงในรูปที่ 2 ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมเศษขยะพลาสติกสรุปไว้ในตารางที่ 2 โดยใช้เศษขยะพลาสติกแทนที่มีมวลรวมละเอียดร้อยละ 10 20 และ 30 โดยปริมาตร ดังแสดงในตารางที่ 3

## 2.4 การทดสอบ

### 2.4.1 กำลังอัด

กำลังอัดของคอนกรีตทดสอบตามมาตรฐาน BS EN 12390-3: 2009 [9] โดยหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 10×10×10 เซนติเมตร<sup>3</sup> จากนั้นบ่มตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 7, 28 และ 365 วัน หลังจากครบระยะเวลาบ่มน้ำ นำตัวอย่างมาทดสอบกำลังอัดโดยใช้เครื่องทดสอบแรงกดกดลงบนตัวอย่างคอนกรีตจนเกิด

การวิบัติ แล้วบันทึกแรงกดสูงสุดเพื่อคำนวณกำลังอัดของคอนกรีต

### 2.4.2 กำลังดัด

กำลังดัดของคอนกรีตทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C293/C293M-16 [10] โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (UTM) กับตัวอย่างทรงปริซึมขนาด 10×10×50 เซนติเมตร ที่บ่มในน้ำ 7 28 และ 365 วัน จากนั้นทำเครื่องหมายแบ่งกลางคานและแบ่งด้านข้างเป็นสองส่วนละ 22.5 เซนติเมตร เพื่อกำหนดจุดรองรับและจุดกดโหลด วางตัวอย่างบนแท่นรองรับสองจุด ใช้โหลดกดจุดกลางตัวอย่างโดยเพิ่มแรงอย่างต่อเนื่องจนเกิดแตกหัก บันทึกแรงสูงสุดและคำนวณกำลังดัด (Modulus of rupture)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมและมวลรวมเศษขยะพลาสติก

คุณสมบัติ	มวลรวม		มวลรวมเศษขยะพลาสติก		
	ทราย	หิน	PVC	PP	PET
ความถ่วงจำเพาะ	2.68	2.59	1.30 – 1.48	0.905	1.35
ขนาดอนุภาค (มม.)	0 - 3	4.75 – 19.0	3 – 3.5	3 – 3.5	3.0 -4.5
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	0.32	0.42	0	0	0
รูปร่าง	angular	Angular	cylindrical	cube	angular

ตารางที่ 3 ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้

รหัสส่วนผสม	ส่วนผสมคอนกรีต (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)							
	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	น้ำ	ทราย (SSD)	มวลรวมเศษขยะพลาสติก			หิน (SSD)
					PVC	PP	PET	
NC0	260	111.4	192	773	-	-	-	1020.8
PVC10	260	111.4	192	695.8	39.7	-	-	1020.8
PVC20	260	111.4	192	618.5	79.4	-	-	1020.8
PVC30	260	111.4	192	541.2	119	-	-	1020.8
PP10	260	111.4	192	695.8	-	26	-	1020.8
PP20	260	111.4	192	618.5	-	51.9	-	1020.8
PP30	260	111.4	192	541.2	-	77.9	-	1020.8
PET10	260	111.4	192	695.8	-	-	40	1020.8
PET20	260	111.4	192	618.5	-	-	79	1020.8
PET30	260	111.4	192	541.2	-	-	119.9	1020.8

หมายเหตุ: ส่วนผสมคอนกรีตออกแบบโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.50 และใช้อัตราส่วนเถ้าลอยต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.30

#### 2.4.3 กำลังดึงแบบผ่าซีก

กำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตถูกทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C496/C496M-17 [11] ด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดคอนกรีต โดยหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร จากนั้นบ่มตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 7, 28 และ 365 วัน หลังจากครบระยะเวลาบ่มน้ำ นำตัวอย่างมาทดสอบโดยการกดแรงที่ด้านข้างของผิวตัวอย่างบริเวณกึ่งกลางจนเกิดการแตกร้าว พร้อมทั้งบันทึกค่าแรงกดสูงสุดเพื่อคำนวณกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต

#### 2.4.4 ความต้านทานการขัดสี

ความต้านทานการขัดสีของพื้นผิวคอนกรีตทดสอบตาม Rotating-cutter method ตามมาตรฐาน ASTM C944/C944M-19 [12] โดยติดตั้งหัวขัด (Dressing wheel) กับแกนหมุนของเครื่องเจาะ นำตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 10×10×10 เซนติเมตร<sup>3</sup> ผึ่งให้แห้งและชั่งน้ำหนัก จากนั้นขัดพื้นผิวด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ภายใต้น้ำหนักกด 98 นิวตัน เป็นเวลา 2 นาที หลังทดสอบชั่งน้ำหนักอีกครั้งและคำนวณการสูญเสียน้ำหนักจากการขัด โดยทดสอบหลังบ่มน้ำครบ 365 วัน

#### 2.4.5 การนำความร้อน

การนำความร้อนของคอนกรีตทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5334-22 [13] โดยใช้เครื่อง Transient Line Source (TLS-100) กับตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร หลังบ่มน้ำครบ 365 วัน ทำการเลือกและติดตั้งเข็มทดสอบที่เหมาะสม เสียบเข็มลงในตัวอย่าง เปิดเครื่องและตรวจสอบการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ เริ่มทดสอบโดยกดปุ่มควบคุมค้าง 2 วินาที เครื่องจะปล่อยความร้อนผ่านเข็มและบันทึกอุณหภูมิ รอยจางแสดงค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อน บันทึกผลเพื่อวิเคราะห์ ค่าการนำความร้อนแสดงในหน่วย W/mK

#### 2.4.6 การแทรกซึมคลอไรด์แบบแรง

หล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร บ่มใน

น้ำ 365 วัน จากนั้นนำตัวอย่างมาตัดบริเวณกึ่งกลางให้มีความหนา 5 เซนติเมตร นำตัวอย่างมาประกอบเข้ากับเซลล์ทดสอบ โดยด้านหนึ่งให้สัมผัสสารละลาย NaCl อีกด้านหนึ่ง และ NaOH ต่อขั้วไฟฟ้า ใช้แรงดัน 60 โวลต์ ผ่านตัวอย่าง บันทึกกระแสทุก 1 นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง คำนวณค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่าน หน่วยเป็น Coulombs เพื่อประเมินความพรุนและการแทรกซึมคลอไรด์ตามมาตรฐาน ASTM C1202-22 [14]

#### 2.4.7 การแทรกซึมคลอไรด์แบบแพร่ทั้งหมด

การทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์แบบแพร่ตามมาตรฐาน ASTM C1556-22 [15] เริ่มต้นด้วยการหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร บ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 365 วัน เมื่อครบกำหนด ตัดตัวอย่างเป็น 5 แผ่น หนาแผ่นละ 1 เซนติเมตร นับจากผิวหน้าคอนกรีตโดยเฉพาะส่วนกึ่งกลางของแต่ละแผ่นให้เป็นผง สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ นำผงตัวอย่าง 5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และกรดไนตริกเจือจาง 25 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:1) ต้มให้เดือด กรองสารละลายแล้วเตรียเพื่อวัดปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในคอนกรีต

### 3. ผลการทดลองและอภิปราย

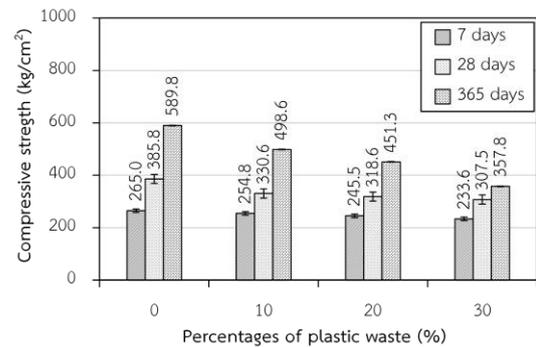
#### 3.1 กำลังอัด

จากรูปที่ 6 พบว่า คอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีกำลังอัดลดลงตามปริมาณการแทนที่สูงขึ้น โดยที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10 ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเมื่อเทียบกับร้อยละ 20 และ 30 นอกจากนี้ การลดลงของกำลังอัดเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม อยู่ในช่วงร้อยละ 3.85–11.85 (7 วัน), 14.32–20.30 (28 วัน) และ 15.46–39.32 (365 วัน) ขณะที่คอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และ PET มีการลดลงของกำลังอัดในช่วงร้อยละ 6.50–25.00 (7 วัน), 19.35–43.04 (28 วัน), 35.55–58.69 (365 วัน) และร้อยละ 10.26–30.77 (7 วัน), 24.54–46.76 (28 วัน) และ 38.85–53.89 (365 วัน) ตามลำดับ เนื่องจากเศษขยะพลาสติกมีลักษณะ

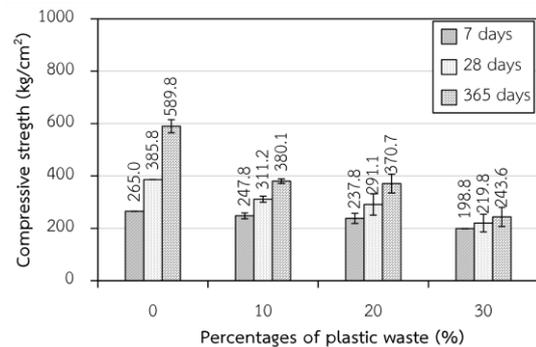
ที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2569

พื้นผิวเรียบมัน ดังนั้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุประสานและอนุภาคพลาสติก (Interface transition zone, ITZ) จึงลดลง นอกจากนี้ พื้นผิวที่การยึดเกาะไม่ดีก่อให้เกิดรอยต่อในโครงสร้างคอนกรีต ทำให้การถ่ายแรงแรงระหว่างมวลรวมและวัสดุประสานไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้ความสามารถรับกำลังอัดลดต่ำลง [3-4, 16] นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณการแทนที่มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่สูงขึ้นยังเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของอนุภาคพลาสติกในเนื้อคอนกรีต ทำให้การเรียงตัวของวัสดุไม่สม่ำเสมอและเกิดการสะสมของรอยแตกร้าวได้ง่าย ซึ่งส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงโดยรวมของคอนกรีต ผลการทดลองในลักษณะเดียวกันนี้ยังถูกรายงานโดย Sau et al. [17] และ Hassan et al. [18] อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาที่ใช้ปริมาณการแทนที่ด้วยเศษขยะพลาสติกร้อยละ 10 20 และ 30 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียดซึ่งไม่ใช่ปริมาณที่สูงมากจนเกินไป แม้ว่าการใช้เศษขยะพลาสติกทำให้กำลังอัดต่ำกว่ากำลังอัดของคอนกรีตควบคุม แต่ก็มีกำลังอัดเกินกว่าร้อยละ 50 ของกำลังอัดของคอนกรีตควบคุมอยู่ กล่าวคือ กำลังอัดมากกว่า 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตทางจักรยาน

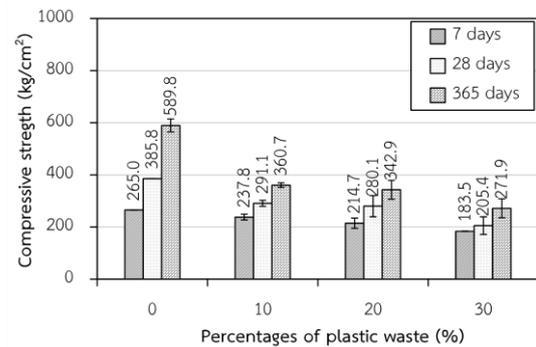
เมื่อพิจารณาผลกระทบของชนิดของมวลรวมเศษขยะพลาสติกที่การแทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 10 จากรูปที่ 7 พบว่า คอนกรีตที่ใช้ PVC มีค่ากำลังอัดที่ดีที่สุด รองลงมาเป็น คอนกรีตที่ใช้ PP และ คอนกรีตที่ใช้ PET ตามลำดับ โดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมพลาสติก PP และ PET มีกำลังอัดลดลงร้อยละ 2.76 และ 6.67 ที่ 7 วัน ร้อยละ 5.87 และ 11.93 ที่ 28 วัน และร้อยละ 23.76 และ 27.66 ที่ 365 วัน จากงานวิจัยของ Ibrahim et al. [19] พบว่า PVC มีค่าความแข็งแรง (Young's modulus) เท่ากับ 2,833 เมกะปาสคาล ขณะที่ Shiuly et al. [20] รายงานว่า PET มีค่าความแข็งแรง เท่ากับ 1,800 เมกะปาสคาล จากงานวิจัยดังกล่าว พบว่า PVC มีความแข็งแรงสูงกว่า PET ซึ่งอาจทำให้คอนกรีตที่ใช้ PVC มีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้ PET [4]



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC

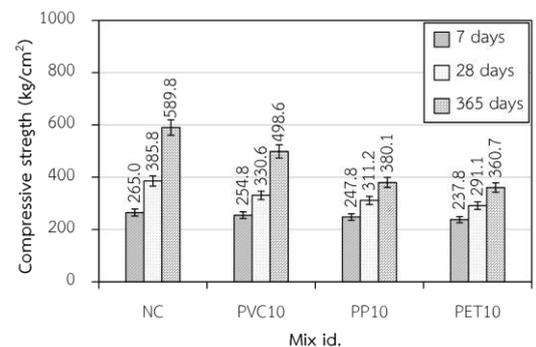


ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP



ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

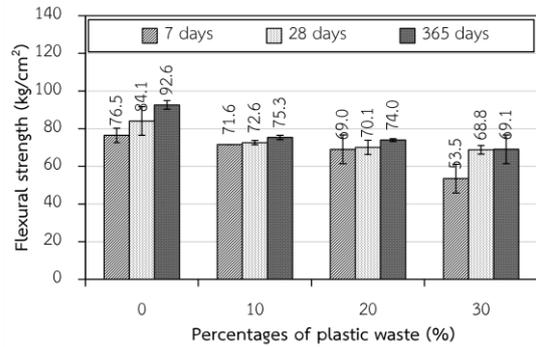
รูปที่ 6 กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก



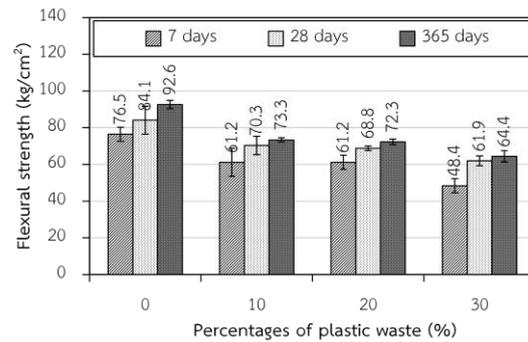
รูปที่ 7 กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

3.2 กำลังดัด

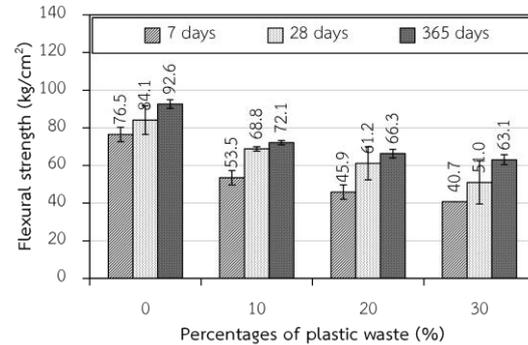
เมื่อพิจารณา กำลังดัดของคอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC, PP และ PET จากรูปที่ 8 พบว่า กำลังดัดลดลงตามอัตราการแทนที่มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้นโดยเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม การลดลงของกำลังดัดที่ระยะเวลาบ่มน้ำ 7 วัน อยู่ในช่วงร้อยละ 6.30 ถึง 30.00 ขณะที่ 28 วัน อยู่ระหว่างร้อยละ 13.64 ถึง 18.18 และที่ 365 วัน ลดลงร้อยละ 18.68 ถึง 25.45 ตามลำดับ สำหรับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP พบว่า กำลังดัดลดลงในช่วงร้อยละ 20.00–36.70, 16.36–26.36, 20.82–30.46 ที่ 7, 28 และ 365 วัน ตามลำดับ และคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET กำลังดัดลดลงในช่วงร้อยละ 30.00–46.70 ที่ 7 วัน, 18.18–39.36 ที่ 28 วัน และ 22.14–31.90 ที่ 365 วัน ตามลำดับ โดยคอนกรีตที่แทนที่มวลรวมเศษขยะพลาสติก ร้อยละ 10 มีกำลังดัดสูงสุดในทุกชนิดของมวลรวมเศษขยะพลาสติก สำหรับการลดลงของกำลังดัดของคอนกรีต อาจเนื่องจากความหนาแน่นที่ต่ำกว่าของมวลรวมเศษขยะพลาสติกเมื่อเทียบกับมวลรวมธรรมชาติ ทำให้โครงสร้างภายในคอนกรีตมีช่องว่างและความพรุนสูงขึ้น ส่งผลให้การกระจายแรงดัดไม่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ [20] แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุประสานกับมวลรวมเศษขยะพลาสติกต่ำ เนื่องจากพื้นผิวพลาสติกมีลักษณะเรียบทำให้เกิด ITZ ที่มีความอ่อนแอต่อการแตกร้าว และลดความสามารถในการถ่ายแรงระหว่างวัสดุ [21] และการเพิ่มปริมาณเศษพลาสติกเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของอนุภาคพลาสติกในเนื้อคอนกรีต ทำให้การเรียงตัวของวัสดุไม่สม่ำเสมอ และเพิ่มความเสี่ยงต่อการสะสมของรอยแตกร้าว ซึ่งทำให้ความแข็งแรงลดลงอย่างต่อเนื่องตามเวลาการบ่มน้ำ [5] เมื่อพิจารณาผลกระทบของชนิดของมวลรวมเศษขยะพลาสติกที่การแทนที่มวลรวมละเอียด ร้อยละ 10 ดังรูปที่ 9 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีค่ากำลังดัดดีที่สุด รองลงมาเป็นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET ตามลำดับ



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC

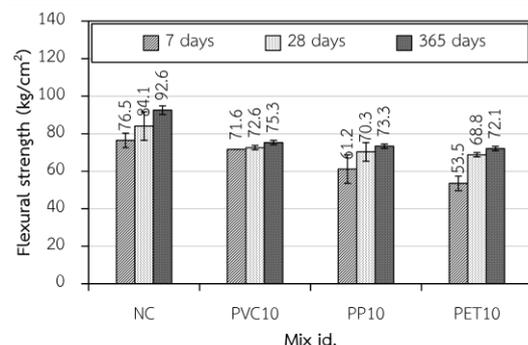


ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP



ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

รูปที่ 8 กำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก



รูปที่ 9 กำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และ PET มีกำลังดัดลดลงร้อยละ 14.62 และ 25.29 ที่ 7 วัน ร้อยละ 3.16 และ 5.26 ที่ 28 วัน และร้อยละ 2.64 และ 4.26 ที่ 365 วัน เนื่องจากมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีค่าความแข็งแรง (Young's modulus) สูงกว่า PP และ PET [5, 19] ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัดของคอนกรีตเมื่อใช้เป็นมวลรวมเศษขยะพลาสติก เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกชนิด PET, PVC และ PP พบว่า กำลังดัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและกำลังดัดแสดงในรูปแบบเอ็กซีโพเนนเชียล ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก

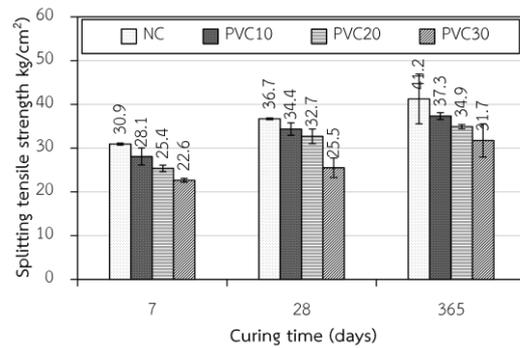
PVC;	$f_r = 5.833f_c^{0.417}$	$R^2 = 0.851$
PP;	$f_r = 3.973f_c^{0.497}$	$R^2 = 0.803$
PET;	$f_r = 0.669f_c^{0.800}$	$R^2 = 0.881$

หมายเหตุ:  $f_c$  คือ กำลังอัดของคอนกรีต (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร),  $f_r$  คือ กำลังดัดของคอนกรีต (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ทั้งนี้ ปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยมวลรวมเศษขยะพลาสติกตั้งแต่ 10-30%

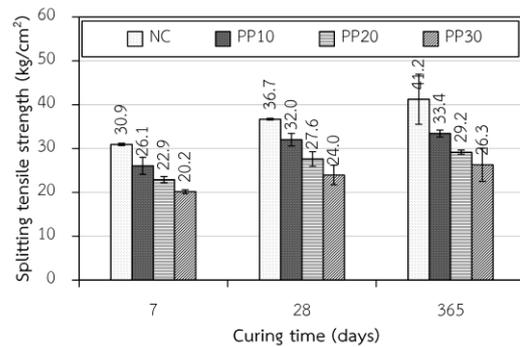
### 3.3 กำลังดึงแบบผ่าซีก

จากรูปที่ 10 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกทั้ง PVC, PP และ PE มีค่ากำลังดึงแบบผ่าซีกลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมพบว่า ที่ระยะเวลาบ่มน้ำ 7 วัน คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีกำลังดึงลดลงร้อยละ 9.18 ถึง 26.80 ขณะที่ระยะเวลาบ่มน้ำ 28 วัน มีกำลังดึงลดลงร้อยละ 6.37 ถึง 30.42 และที่ระยะเวลาการบ่มน้ำ 365 วัน มีกำลังดึงลดลงร้อยละ 9.44 ถึง 23.01 ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยปริมาตรตามลำดับ เช่นเดียวกับคอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และ PET เมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละระยะเวลาบ่มน้ำคือ 7 28 และ 365 วัน พบว่า กำลังดึง

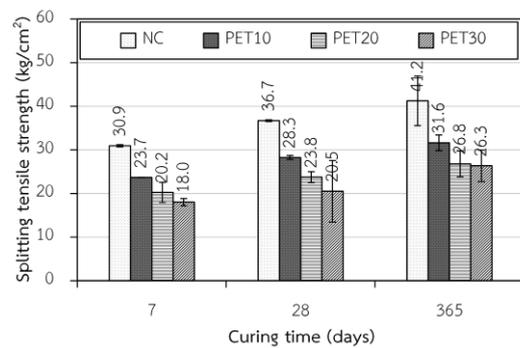
ลดลงร้อยละ 15.78–34.84, 12.73–34.66 และ 18.92–36.23 สำหรับคอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และ ร้อยละ 23.48–41.79, 22.99–44.12 และ 23.29–36.11 สำหรับคอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PET ตามลำดับ



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC



ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP

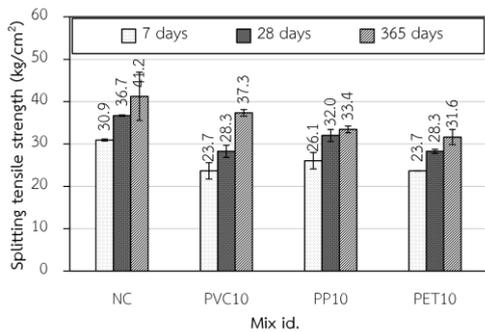


ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

รูปที่ 10 กำลังดึงของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก

การลดลงของกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกอาจเกิดจากการยึดเกาะระหว่างเนื้อปูนซีเมนต์กับอนุภาคพลาสติกที่ไม่ดี เนื่องจากพื้นผิว

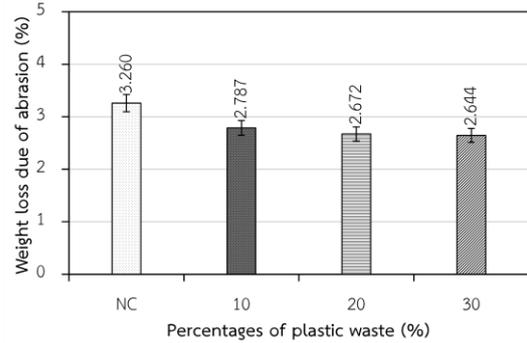
ของเศษพลาสติกมีลักษณะเรียบและเป็น Hydrophobic ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างวัสดุที่มีความอ่อนแอและเป็นจุดอ่อนสำหรับการแตกร้าวส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงของคอนกรีตลดลงอย่างมาก [17, 21] ความแตกต่างของคุณสมบัติทางกลระหว่างมวลรวมธรรมชาติและเศษพลาสติก โดยเฉพาะโมดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic modulus) ที่ต่ำกว่าของเศษพลาสติก ส่งผลให้เกิดการกระจายแรงที่ไม่สมดุลในเนื้อคอนกรีต ความต่างของความแข็งแรงและการยึดหดตัวทำให้เกิดความเครียดสะสมบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุ (ITZ) ซึ่งเป็นจุดอ่อนที่เสี่ยงต่อการเริ่มและขยายตัวของรอยแตกร้าว ส่งผลให้ความแข็งแรงโดยรวมของคอนกรีตลดลงและมีโอกาสเกิดความเสียหายมากขึ้นภายใต้แรงดึงหรือแรงดัดในระยะยาว [6, 20] โดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษพลาสติกที่ร้อยละ 10 มีกำลังดึงแบบผ่าซีกสูงที่สุด เมื่อพิจารณาการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยมวลรวมเศษพลาสติกที่ร้อยละ 10 ดังรูปที่ 11 พบว่า คอนกรีตที่ใช้ PVC มีกำลังดึงแบบผ่าซีกดีที่สุด รองลงมาเป็นคอนกรีตที่ใช้ PP และคอนกรีตที่ใช้ PET ตามลำดับ ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับค่าความแข็งแรง (E) ของเศษขยะพลาสติกของแต่ละชนิด [16, 22]



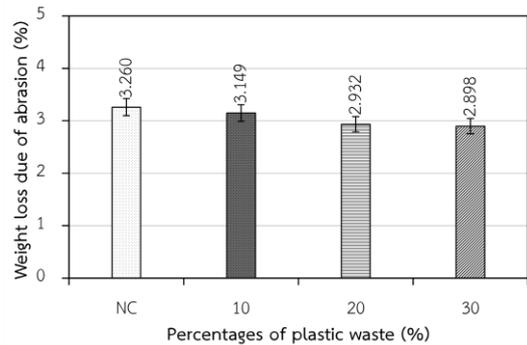
รูปที่ 11 กำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

### 3.4 ความต้านทานการขีดสี

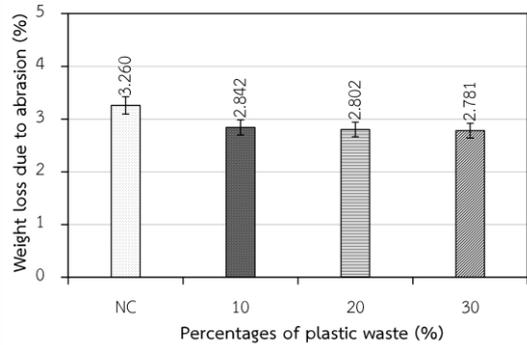
จากรูปที่ 12 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกมีการสูญเสียน้ำหนักจากการขีดสีน้อยกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมละเอียดธรรมชาติ และการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกลดลงอย่างเห็นได้ชัดตามปริมาณการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC



ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP

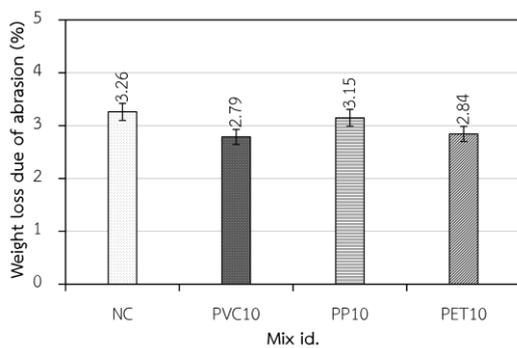


ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

รูปที่ 12 การสูญเสียน้ำหนักจากการขีดสีของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก

โดยเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม การลดลงของการสูญเสียน้ำหนักจากการขีดสีของคอนกรีตที่ใช้ PVC อยู่ในช่วงร้อยละ 14.51 ถึง 18.90 ขณะที่คอนกรีตที่ใช้ PP มีค่าการลดลงอยู่ระหว่างร้อยละ 3.40 ถึง 11.10 และคอนกรีตที่ใช้ PET ลดลงร้อยละ 12.82 ถึง 14.69 ตามลำดับ โดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกทั้งสามชนิดที่การแทนที่ร้อยละ 30 มีการสูญเสียน้ำหนักจากการขีดสีน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sau et al. [17] ที่พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกมี

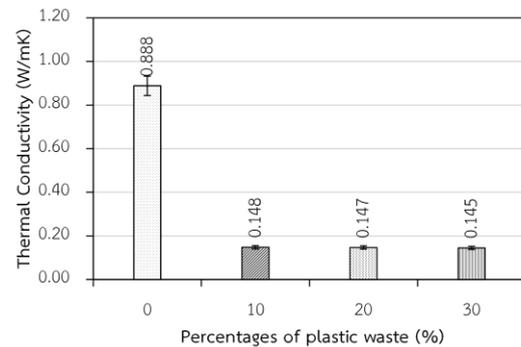
การสูญเสียน้ำหนักจากการขัดสีน้อยกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมละเอียดธรรมชาติ เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติทางกลที่ช่วยดูดซับพลังงาน และมีพฤติกรรมการยืดหยุ่น (Ductility) ที่ดี กล่าวคือ มีความสามารถในการเสียรูปโดยไม่แตกหัก ซึ่งช่วยควบคุมการเกิดรอยแตกกว้างและลดการสึกกร่อน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Mohammed et al. [22] พบว่า การสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมพลาสติก PVC ทั้งใช้ในการแทนที่ทรายและหิน มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ เมื่อพิจารณาผลกระทบของชนิดของมวลรวมเศษพลาสติกที่การแทนที่ร้อยละ 10 ดังรูปที่ 13 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีการสูญเสียน้ำหนักจากการขัดสีต่ำที่สุด



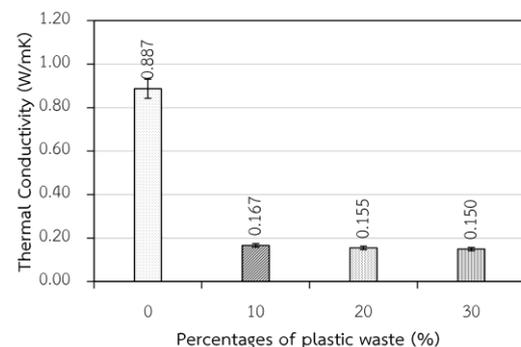
รูปที่ 13 ความต้านทานการขัดสีของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

### 3.5 การนำความร้อน

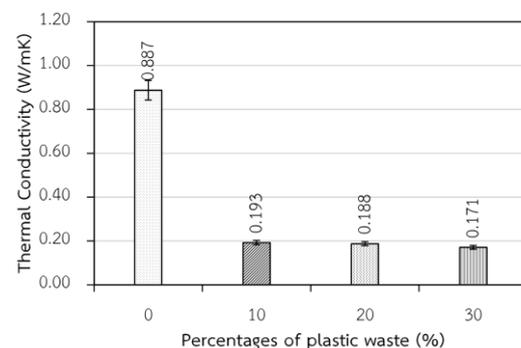
จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 14 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกทุกชนิดมีค่าการนำความร้อนลดลงอย่างมากเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ของมวลรวมเศษขยะพลาสติกในคอนกรีต หากเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีค่าการนำความร้อนลดลงสูงสุด ประมาณร้อยละ 83.33 – 83.67 ขณะที่คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP ลดลงใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 81.23 – 83.15 และคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET ลดลงร้อยละ 78.30 – 80.78



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC



ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP



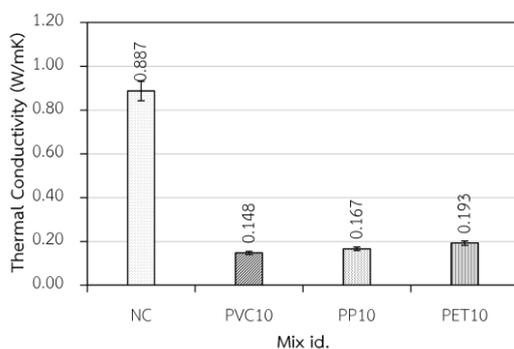
ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

รูปที่ 14 การนำความร้อนของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก

นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อมีการแทนที่ทรายร้อยละ 30 คอนกรีตทุกชนิดสามารถลดค่าการนำความร้อนได้ต่ำที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติกที่มีค่าการนำความร้อนและค่าความจุความร้อนเชิงปริมาตรต่ำกว่าทรายธรรมชาติ อีกทั้งโครงสร้างโมเลกุลโพลิเมอร์ของวัสดุพลาสติก (PVC, PP, PET) ยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวน ส่งผลให้กระบวนการถ่ายเทความร้อนช้าลงเมื่อถูกนำมาใช้แทนทรายในส่วนผสมคอนกรีต คุณสมบัติดังกล่าวช่วยลดค่า

การนำความร้อนโดยรวมของคอนกรีตได้อย่างมาก ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Belmokaddem et al. [4] และ Záleská et al. [23] เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบของชนิดของมวลรวมเศษขยะพลาสติกที่การแทนที่ร้อยละ 10 ดังรูปที่ 15 พบว่า คอนกรีตควบคุมมีค่าการนำความร้อนสูงสุดประมาณ 0.887 W/mK ขณะที่คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีค่าการนำความร้อนลดลงอย่างมาก อยู่ที่ 0.148 W/mK สำหรับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และ PET มีค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 0.167 W/mK และ 0.193 W/mK ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดค่าการนำความร้อนอย่างมากเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม

เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนที่ได้จากการทดลองกับค่าที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงพลังงานสำหรับคอนกรีตสแลปซึ่งมีค่าการนำความร้อนประมาณ 1.442 W/mK และคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นระหว่าง 620 ถึง 1,280 กก./ม.<sup>3</sup> ซึ่งมีค่าการนำความร้อนในช่วง 0.180 – 0.476 W/mK พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกจากการทดลองนี้มีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตสแลปทั่วไปและบางช่วงค่าที่ต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแทนที่มวลรวมเศษขยะพลาสติกในคอนกรีตช่วยลดค่าการนำความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของ PVC ที่มีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด

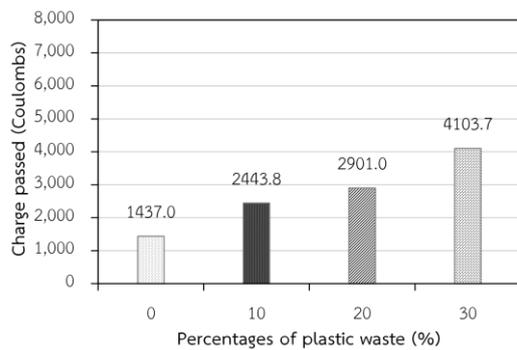


รูปที่ 15 การนำความร้อนของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

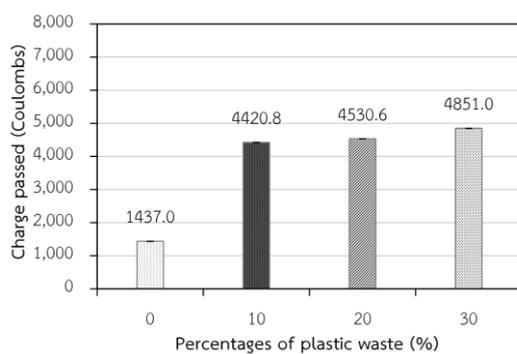
### 3.6 ความต้านทานคลอไรด์แบบเร่ง

การแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งของคอนกรีตผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC, PP และ PET แสดงในรูปที่ 16 จากรูปพบว่า คอนกรีตควบคุมมีความต้านทานคลอไรด์ดีที่สุดโดยมีปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านเพียง 1,437 คูลอมป์ จัดอยู่ในกลุ่มความสามารถแทรกซึมคลอไรด์ต่ำ (Low chloride penetrability) ตามมาตรฐาน ASTM C1202 [14] เมื่อพิจารณาผลกระทบของมวลรวมเศษขยะพลาสติกแต่ละชนิด พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ความต้านทานคลอไรด์ดีที่สุดเมื่อเทียบกับเศษพลาสติกอื่น ๆ โดยที่การแทนที่ร้อยละ 10 และ 20 คอนกรีตผสม PVC ยังจัดอยู่ในกลุ่มความสามารถแทรกซึมคลอไรด์ปานกลาง (Moderate chloride penetrability) โดยมีปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่าน 2,443.8 และ 2,901.0 คูลอมป์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อการแทนที่เพิ่มเป็นร้อยละ 30 ค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านเพิ่มขึ้นเป็น 4,103.7 คูลอมป์ ซึ่งอยู่ในกลุ่มความซึมผ่านคลอไรด์สูง (High chloride penetrability) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC แทนที่ร้อยละ 10 ถึง 20 ยังคงมีประสิทธิภาพในการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีความเสี่ยงต่อคลอไรด์ในระดับปานกลางได้ ขณะที่คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP ที่การแทนที่ร้อยละ 10 ค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านเพิ่มขึ้นจาก 1,437.0 เป็น 4,420.8 คูลอมป์ (เพิ่มขึ้นร้อยละ 207.6) ทำให้อยู่ในกลุ่มความสามารถแทรกซึมคลอไรด์สูง นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงการแทนที่ร้อยละ 0-10 ขณะที่การเปลี่ยนแปลงในช่วงการแทนที่ร้อยละ 10-20 ประจุไฟฟ้าทั้งหมดเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 2.5 และร้อยละ 7.1 สำหรับในช่วงการแทนที่ร้อยละ 20-30 แต่คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP ทุกปริมาณการแทนที่ ยังคงอยู่ในกลุ่มความสามารถแทรกซึมคลอไรด์สูง สำหรับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET มีค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านสูงที่สุด โดยมีค่าปริมาณประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 273.7 ที่การ

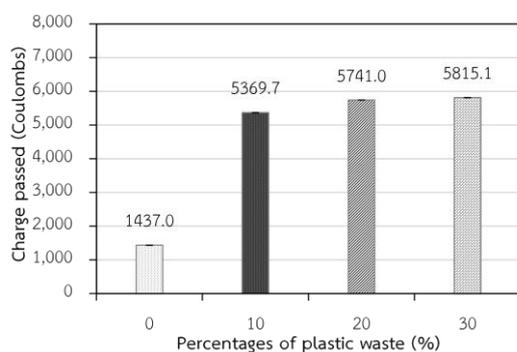
แทนที่ร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม และมีค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านสูงสุด 5,815.1 คุลอมป์ ที่การแทนที่ร้อยละ 30 ซึ่งคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET ร้อยละ 30 มีค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านสูงสุดเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกอื่น ๆ



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC



ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP

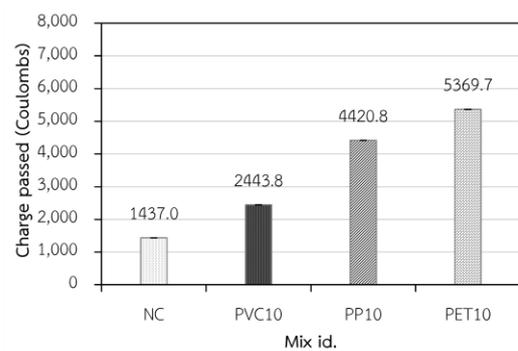


ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

รูปที่ 16 การแทรกซึมคลอไรด์แบบแรงของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก

การเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านคอนกรีตสะท้อนให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของความพรุนและ

การเชื่อมต่อของรูพรุนในเนื้อคอนกรีต กล่าวคือ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกมีบริเวณ ITZ มากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมละเอียดธรรมชาติ [4] ซึ่งโพรงช่องว่างเหล่านี้ส่งผลให้ประจุไฟฟ้าไหลผ่านตัวอย่างคอนกรีตได้ง่าย หรือกล่าวได้ว่า คอนกรีตมีความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ต่ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบการแทรกซึมคลอไรด์แบบแรงของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกชนิด PVC, PP และ PET ที่การแทนที่มวลรวมละเอียดธรรมชาติร้อยละ 10 ดังรูปที่ 17 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกชนิด PVC มีปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านต่ำที่สุด หรือ มีความต้านทานคลอไรด์แบบแรงสูงที่สุดนั่นเอง

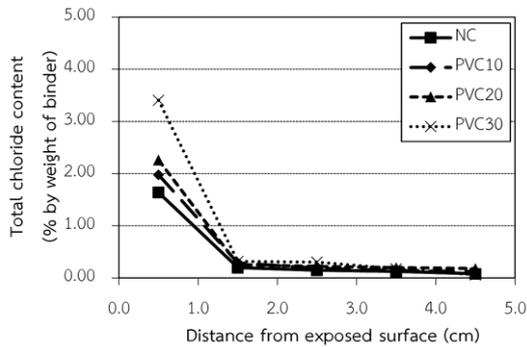


รูปที่ 17 การแทรกซึมคลอไรด์แบบแรงของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

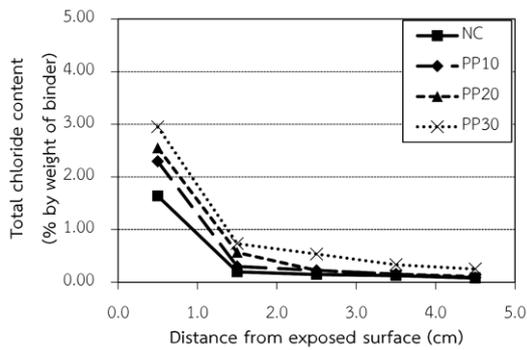
### 3.7 การแทรกซึมคลอไรด์แบบแช่

เมื่อพิจารณาการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC, PP และ PET แทนที่มวลรวมละเอียดธรรมชาติ ดังรูปที่ 18 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกทุกชนิดมีการแทรกซึมคลอไรด์สูงกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมละเอียดธรรมชาติ โดยการแทรกซึมคลอไรด์ในคอนกรีตมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อการแทนที่ของมวลรวมเศษพลาสติกเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกส่งผลให้คอนกรีตมีโพรงช่องว่างเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของโพรงช่องว่างส่งผลให้คลอไรด์สามารถแทรกซึมผ่านเนื้อคอนกรีตได้ง่ายขึ้น ทำให้ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ต่ำลง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Islam et al. [6] และ Silva et

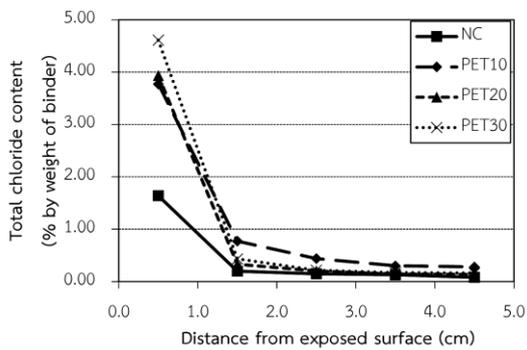
al. [24] และจากรูปที่ 19 เมื่อพิจารณาการแทนที่มวลรวมละเอียดธรรมชาติด้วยมวลรวมเศษขยะพลาสติกร้อยละ 10 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกชนิด PVC มีการแทรกซึมคลอไรด์ต่ำที่สุด รองลงมาเป็น PP และ PET ตามลำดับ



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC

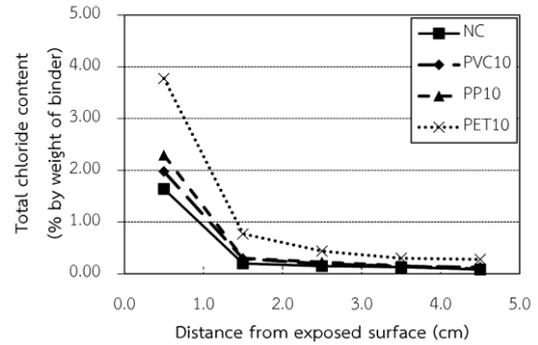


ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP



ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

รูปที่ 18 การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก



รูปที่ 19 การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

### 3.8 การสร้างทางจักรยานตัวอย่างขนาดเล็ก

จากการพิจารณาผลทดสอบกำลังอัดและความต้านทานการขีดสีของคอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติกแต่ละชนิดพบว่า คอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC แทนที่ทรายร้อยละ 10 มีกำลังอัดและความต้านทานการขีดสีดีกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกชนิดอื่น ดังนั้นส่วนผสมนี้จึงถูกเลือกใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตสำหรับการสร้างทางจักรยานในการศึกษา นี้ โดยรายละเอียดส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้สำหรับสร้างทางจักรยาน แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ส่วนผสมของคอนกรีตผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ใช้ในทางจักรยานตัวอย่างขนาดเล็ก

ส่วนผสมคอนกรีต	ปริมาณ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
ปูนซีเมนต์	260
เถ้าลอย	111.4
น้ำ	185.7
ทราย (SSD)	689.1
เม็ดพลาสติก PVC	39.7
หิน (SSD)	1025.8

มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ที่มีลักษณะเป็นสีขาวเพื่อให้เข้ากับสีของคอนกรีต ดังรูปที่ 20 โดยทางจักรยานตัวอย่างขนาดเล็ก มีความกว้าง 2.00 เมตร ความยาว 15.00 เมตร และความหนา 10 เซนติเมตร ทำการ

ก่อสร้างบริเวณด้านหลังอาคารโรงประลองภาควิชา  
วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา  
จังหวัดชลบุรี ดังแสดงในรูปที่ 21



รูปที่ 20 มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ที่ใช้ในงาน  
ก่อสร้างทางจักรยานตัวอย่างขนาดเล็ก

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดที่ควรพิจารณา  
ศึกษาต่อไปด้วย ได้แก่ (1) ความแข็งแรงระยะยาว (Long-  
term strength) แม้ตัวอย่างคอนกรีตมีความสามารถรับ  
น้ำหนักบรรทุกและต้านทานการขีดสีได้ แต่ยังต้องการ  
การศึกษาภายใต้การใช้งานระยะยาวและผลกระทบจาก  
สภาพแวดล้อมด้วย (2) การยึดเกาะกับวัสดุอื่น  
(Interfacial bonding) เนื่องจากพื้นผิวมวลรวมเศษขยะ  
พลาสติกอาจจับยึดกับเหล็กเสริมหรือวัสดุเสริมแรงอื่นๆ  
ได้ไม่เต็มที่ และ (3) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระยะยาว  
(Long-term environmental impact) เช่น การเสื่อม  
สลายหรือการปลดปล่อยไมโครพลาสติก (Microplastics)  
จากคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกอาจก่อให้เกิด  
ปัญหาได้ จึงควรวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตวัสดุ (Life cycle  
assessment: LCA) ด้วย



ก) การปรับระดับพื้นดิน กั้นแบบ  
และวางเหล็กเสริม



ข) การเทคอนกรีตผสมมวลรวมเศษ  
ขยะพลาสติก PVC 10%



ค) พื้นทางจักรยานตัวอย่างขนาดเล็ก  
ที่เสร็จแล้ว

รูปที่ 21 การสร้างทางจักรยานตัวอย่างขนาดเล็ก

#### 4. สรุปผล

จากการศึกษากำลังและความคงทนของคอนกรีตที่ใช้  
การแทนที่มวลรวมละเอียดธรรมชาติด้วยมวลรวมเศษขยะ  
พลาสติก สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. กำลังอัดของคอนกรีตลดลงตามปริมาณมวลรวม  
เศษขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษ  
ขยะพลาสติก PVC ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเมื่อเทียบกับ  
พลาสติกชนิดอื่น ทั้งนี้ การแทนที่ร้อยละ 10 ยังคงให้  
กำลังอัดมากกว่า 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่ง  
เหมาะสมสำหรับทางเท้าและทางจักรยาน

2. กำลังดัดและกำลังดึงแบบผ่าซีกมีแนวโน้มลดลง  
ตามปริมาณมวลรวมเศษขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น คอนกรีต  
ที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ให้ค่ากำลังดัดและ  
กำลังดึงแบบผ่าซีกสูงสุด โดยเฉพาะที่การแทนที่ร้อยละ  
10

3. ความต้านทานการขีดสีของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเมื่อใช้  
มวลรวมเศษขยะพลาสติกทุกชนิด โดยมวลรวมเศษขยะ  
พลาสติก PVC ที่การแทนที่ร้อยละ 30 มีความต้านทาน  
การขีดสีสูงสุด

4. การนำความร้อนของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกลดลงอย่างมาก โดยมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ที่การแทนที่ร้อยละ 10 มีค่าการนำความร้อนเพียง 0.148 W/mK ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตควบคุมประมาณร้อยละ 83.3

5. คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และ PET ร้อยละ 10 มีการแทรกซึมคลอไรด์อยู่ในระดับสูงขณะที่คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ในสัดส่วนเดียวกัน มีค่าการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งผลการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งมีแนวโน้มเดียวกัน โดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีค่าการแทรกซึมคลอไรด์ต่ำที่สุดรองลงมาคือ PP และ PET ตามลำดับ

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยบูรพา “งบประมาณเงินอุดหนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ปีงบประมาณ พ.ศ.2566” เลขที่สัญญา ววน 28.1/2566 และขอขอบคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษาบูรพา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุนการศึกษานี้ และขอขอบคุณนายบรรณกร ชันดา นายบุญเลิศ แก้วประจักษ์ นางสาวกานต์มณี บุญพิงค์ และนางสาวริศรา ประเสริฐสังข์ บัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ร่วมดำเนินการทดลองในการวิจัยนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] T. Liu, A. Nafees, S. Khan, M.F. Javed, F. Aslam, H. Alabduljabbar, J.J. Xiong, M.I. Hkan and M.Y. Malik, “Comparative study of mechanical properties between irradiated and regular plastic waste as a replacement of cement and fine aggregate for

manufacturing of green concrete,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 13, Art.no. 101563, 2022.

[2] H.M. Hamada, A. Al-Attar, F. Abed, S. Beddu, A.M. Humada, A. Majdi, S.T. Yousif and B.S. Thomas, “Enhancing sustainability in concrete construction: A comprehensive review of plastic waste as an aggregate material,” *Sustain. Mater. Technol.*, vol. 40, Art. no. e00877, 2024.

[3] O. Olofinnade, S. Chandra and P. Chakraborty, “Recycling of high impact polystyrene and low-density polyethylene plastic wastes in lightweight based concrete for sustainable construction,” *Mater. Today: Proc.*, vol. 38, no. 5, pp. 2151–2156, 2021.

[4] B. Belmokaddem, A. Mahi, Y. Senhadji and B.Y. Pekmezci, “Mechanical and physical properties and morphology of concrete containing plastic waste as aggregate,” *Construction and Building Materials*, vol. 257, Art. no.119559, 2020.

[5] M.V. Kangavar, W. Lokuge, A. Manalo, W. Karunasena and M. Frigione, “Investigation on the properties of concrete with recycled polyethylene terephthalate (PET) granules as fine aggregate replacement,” *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 16, Art. no. e00934, 2022.

[6] J. Islam, M.D. Shahjalal and A. Haque, “Mechanical and durability properties of concrete with recycled polypropylene waste plastic as a partial replacement of coarse aggregate,” *J. Build. Eng.*, vol. 54, Art. no. 104597, 2022.

- [7] Thai Industrial Standards Institute, TIS 2594-2556: Hydraulic Cement, Bangkok, Thailand, 2013
- [8] ASTM C618-19, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, 2019.
- [9] BS EN 12390-3:2009, *Testing of Hardened Concrete – Part 3: Compressive Strength of Test Specimens*, British Standards Institution, UK, 2009.
- [10] ASTM C293/C293M-16, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2016.
- [11] ASTM C496/C496M-17, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2017.
- [12] ASTM C944/C944M-19, Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating Cutter Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2019.
- [13] ASTM D5334-22, Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2022.
- [14] ASTM C1202-22, Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2022.
- [15] ASTM C1556-22, Standard Test Method for Determining the Apparent Chloride Diffusion Coefficient of Cementitious Mixtures by Bulk Diffusion, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2022.
- [16] J. Thomeycraft, J. Orr, P. Savoikar and R. J. Ball, "Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand," *Constr. Build. Mater.*, vol. 161, pp. 63-69, 2018.
- [17] D. Sau, A. Shiuly and T. Hazra, "Utilization of plastic waste as replacement of natural aggregates in sustainable concrete: Effects on mechanical and durability properties," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 21, pp. 2085-2120, 2023.
- [18] S. A. A. Hassan and N. M. Fawzi, "Influence of replacing aggregates by recycled waste plastic on the mechanical properties of concrete: A review," *Samarra J. Eng. Sci. Res.*, vol. 3, pp. 55-72, 2025.
- [19] A. A. Ibrahim, N. H. AL-Shareef, M. H. Jaber, R. F. Hassan, H. H. Hussein and N. H. AL-Salim, "Experimental investigation of flexural and shear behaviors of reinforced concrete beam containing fine plastic waste aggregates," *Structures*, vol. 43, pp. 834-846, 2022.
- [20] A. Shiuly, T. Hazra, D. Sau and D. Maji, "Performance and optimization study of waste plastic aggregate based sustainable concrete – a machine learning approach," *Cleaner Waste Syst.*, vol. 2, Art. no. 100014, 2022.
- [21] J. Oti, B. O. Adeleke, M. Rathnayake, J. M. Kinuthia and E. Ekwulo, "Strength and

- durability characterization of structural concrete made of recycled plastic,” *Materials*, vol. 17, Art. no. 1841, 2024.
- [22] A. A. Mohammed, I. I. Mohammed, and S. A. Mohamme, “Some properties of concrete with plastic aggregate derived from shredded PVC sheets,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 201, pp. 232–245, 2019.
- [23] M. Záleská, M. Pavlíková, J. Pokorný, O. Jankovský, Z. Pavlík, and R. Černý, “Structural, mechanical and hygrothermal properties of lightweight concrete based on the application of waste plastics,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 180, pp. 1–11, 2018.
- [24] R. V. Silva, J. de Brito, and N. Saikia, “Influence of curing conditions on the durability-related performance of concrete made with selected plastic waste aggregates,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 35, pp. 23–31, 2013.