

สมบัติของคอนกรีตผสมพลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูงเป็นมวลรวมหยาบ

Properties of Concrete Containing High Impact

Polystyrene Plastic as Coarse Aggregate

สุเมธา ชัยสาร (Sumetha Chaisarn)* ดร.สำเริง รักซ้อน (Dr.Sumrerng Rukzon)^{1**}

ดร.ปริญญ์ จินดาประเสริฐ (Dr.Prinya Chindaprasirt)***

(Received: July 30, 2020; Revised: September 7, 2020; Accepted: October 1, 2020)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการศึกษากำลังอัด ความพรุน และการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตผสมมวลรวมหยาบพลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง (High Impact Polystyrene Plastic หรือพลาสติก HP) การศึกษานี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 (CT) มวลรวมหยาบแทนที่ด้วยพลาสติก HP ในปริมาณร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบปกติ งานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) คงที่เท่ากับ 0.45 ส่วนผสมของคอนกรีตใช้สารลดน้ำพิเศษ (SP) เพื่อควบคุมการทำงานได้ของคอนกรีต ศึกษากำลังอัด ความพรุน และการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่า การใช้พลาสติก HP ในปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบปกติ ส่งผลให้เพิ่มค่ากำลังอัด การต้านทานคลอไรด์ดีขึ้นและลดความพรุนของคอนกรีตเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบพลาสติก HP ในปริมาณร้อยละ 20, 30, 40 และ 50 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบปกติ

ABSTRACT

This research presents a study of the compressive strength, porosity, resistance to chloride of concrete containing high impact polystyrene plastic coarse aggregates (HP). Ordinary Portland Cement Type I (CT) was used in this study. Coarse aggregate was partially replaced with high impact polystyrene plastic (HP) at the dosage levels of 10%, 20%, 30%, 40% and 50% by volume of normal coarse aggregate. Water to binder ratio (W/C) with constant of 0.45 was used in this research. Superplasticizer (SP) was used to control the workability of concrete mixes. Compressive strength, porosity and chloride resistance of concrete were investigated. Test results found that the use of high impact polystyrene plastic (HP) at the dosage levels of 10% by volume of normal coarse aggregate increased compressive strength, improved resistance to chloride and decreased porosity of concrete in comparison with that of HP coarse aggregate at the dosage levels of 20%, 30%, 40% and 50% by volume of normal coarse aggregate.

คำสำคัญ: กำลังอัด การต้านทานคลอไรด์ พลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง

Keywords: Compressive strength, Chloride resistance, High impact polystyrene plastic

¹Corresponding author: sumrerng.ruk@rmutr.ac.th

*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

**รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

***ศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ปัจจุบัน นักวิจัยให้ความสนใจในการศึกษาวัสดุเหลือทิ้งจากผลพลอยได้โรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เช่น การนำเถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบ เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ และเถ้าขาน้อย ซึ่งใช้เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าไปใช้งานคอนกรีต [1-4] เนื่องจากการนำของเหลือทิ้งจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมนำกลับมาใช้ใหม่ก็จะส่งผลให้เกิดการพัฒนาได้อย่างยั่งยืนในด้านการใช้ประโยชน์ของเหลือทิ้ง สามารถอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การนำวัสดุเหลือทิ้งชนิดอื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ยังมีการศึกษาไม่มาก โดยเฉพาะการนำขยะพลาสติกที่เป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นมวลรวมหยาบสำหรับใช้ในงานผลิตคอนกรีต ซึ่งหากไม่มีการศึกษาถึงการนำไปใช้ประโยชน์อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของวัสดุ และสิ้นเปลืองงบประมาณการจัดทิ้ง เนื่องจากการกำจัดทิ้งได้ยาก

การจัดการขยะพลาสติกของประเทศไทย ถือว่าเป็นแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหาการจัดการขยะพลาสติก ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือขยะพลาสติกที่เป็นของเหลือทิ้งจากบ้านเรือนหรือครัวเรือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพบได้ในภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก โดยหากมีการศึกษาและพบว่าเศษพลาสติกเหลือทิ้งดังกล่าวนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างใดๆ ได้ จะสามารถช่วยลดปริมาณการกองทิ้งขยะพลาสติกจากโรงงานอุตสาหกรรมได้ เช่น พลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene หรือ HP)

พลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene หรือ HP) มีคุณสมบัติที่ดีในด้านความแข็งแรง ความสามารถด้านทนต่อแรงกระแทกได้ดี ความทนทานต่อความร้อนและอุณหภูมิสูง ความทนทานต่อการทำปฏิกิริยากับสารเคมี และความทนทานต่อสภาพแวดล้อม กรดและด่าง [5-6] ด้วยคุณสมบัติของ พลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติพื้นฐานได้ว่าวัสดุดังกล่าวนี้เป็นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เช่นเดียวกับวัสดุซีเมนต์หรือวัสดุพอลิโพรไพลีนอื่นๆ ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาพลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene; HP) เป็นวัสดุมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีตโดยใช้แทนที่มวลรวมหยาบปกติบางส่วน ศึกษากำลังอัด ความพรุน และการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต หากผลที่ได้เป็นไปในทิศทางที่ดี จะเป็นอีกทางเลือกในการลดปริมาณของเหลือทิ้งจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมและเป็นข้อมูลเพื่อใช้ศึกษา พัฒนาใช้ประโยชน์พลาสติกเหลือทิ้งได้ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประโยชน์พลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene: HP) แทนที่มวลรวมหยาบบางส่วนในปริมาณที่แตกต่างกัน ศึกษากำลังอัด ความพรุน และการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต

วิธีการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ใช้วัสดุมวลรวม และวัสดุการทดสอบ ดังนี้

1.1 งานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 เป็นวัสดุประสาน มีความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 3.14

1.2 ใช้วัสดุมวลรวมที่มีอยู่โดยทั่วไป ประกอบไปด้วยมวลรวมละเอียด (ทราย) ที่มีขนาดความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 2.82 และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.60 มีขนาดละเอียดเป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM [7-8]

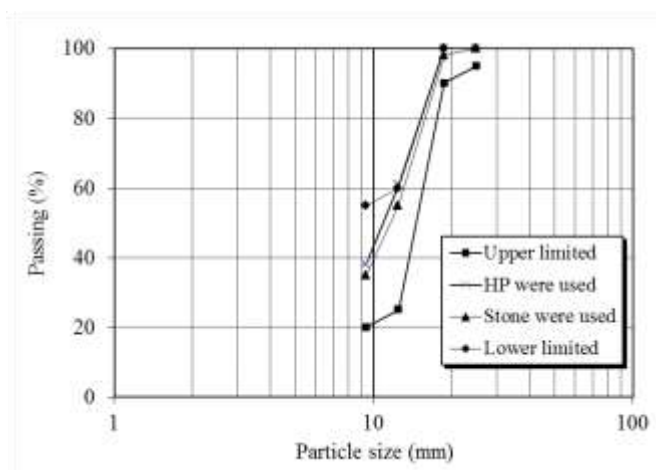
1.3 ใช้มวลรวมหยาบปกติ (หิน) ที่มีความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 7.0 และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.60 มีขนาดละเอียดเป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM [7-8]

1.4 ใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อควบคุมค่าการยุบตัวและความสามารถในการเทได้ของส่วนผสมคอนกรีต

1.5 งานวิจัยนี้ใช้พลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene: HP) ดังแสดงในภาพที่ 1 แทนที่มวลรวมหยาบ โดยปรับปรุงขนาดความละเอียดด้วยการย่อยขนาดให้ได้ขนาดขนาดละเอียดเป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM [7-8] เช่นเดียวกับมวลรวมหยาบปกติ พลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.00 และไม่มีค่าการดูดซึมน้ำ ส่วนในภาพที่ 2 แสดงขนาดการกระจายตัวของมวลรวมหยาบปกติและพลาสติก HP ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้



ภาพที่ 1 พลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene: HP)



ภาพที่ 2 ขนาดการกระจายตัวของหินและพลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene: HP)

2. ส่วนผสมของคอนกรีตและการบ่มคอนกรีต

การศึกษานี้ใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคงที่เท่ากับ 0.45 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (CT) คงที่เท่ากับ 450 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนผสมทุกส่วนผสมใช้สารลดน้ำพิเศษ เพื่อปรับความสามารถ

การเทได้ของคอนกรีต ควบคุมค่าการยุบตัวของคอนกรีตให้ได้เท่ากับ 50-100 มิลลิเมตร ส่วนวัสดุรวมรวมใช้ในปริมาณคงที่ในทุกส่วนผสมเพื่อผลของการวิเคราะห์ข้อมูล และเก็บข้อมูล มวลรวมหยาบปกติแทนที่ด้วยมวลรวมหยาบพลาสติก HP ในปริมาณร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบปกติ ใช้แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 มิลลิเมตร สูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ ASTM C39 [9] ภายหลังหล่อคอนกรีตในแบบหล่อคอนกรีต ทั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นถอดแบบและนำตัวอย่างคอนกรีตบ่มในน้ำสะอาดจนครบอายุการทดสอบที่ 7 และ 28 วัน เพื่อนำไปทดสอบ กำลังอัด ความพรุน และการต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ ส่วนผสมคอนกรีตแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมของคอนกรีต

Mix proportion (kg/m ³)								
Mix	W/B	Cement (CT)	Fine aggregate	Coarse aggregate		Water	SP	Slump (mm)
				Normal aggregate	HP aggregate			
CT	0.45	450	810	1150	0	234	1.50	50-100
10HP	0.45	360	810	1035	115	234	1.55	50-100
20HP	0.45	315	810	920	230	234	1.62	50-100
30HP	0.45	270	810	805	345	234	1.65	50-100
40HP	0.45	360	810	690	460	234	1.66	50-100
50HP	0.45	315	810	575	575	234	1.67	50-100

สัญลักษณ์: CT คือ คอนกรีตใช้มวลรวมหยาบปกติ, Mix ของ xxHP โดยที่ xx คือปริมาณร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยปริมาตรของมวลรวม ตามลำดับ และ SP คือ สารลดน้ำพิเศษ (SP ใช้ในปริมาณร้อยละของปูนซีเมนต์)

3. การทดสอบกำลังอัดและความพรุนของคอนกรีต

การทดสอบกำลังอัดและความพรุนของคอนกรีตใช้การเตรียมตัวอย่างตามมาตรฐานของ ASTM C39 [9] กล่าวคือ ใช้แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 มิลลิเมตร สูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ในการทดสอบความพรุนของคอนกรีต ใช้ตามมาตรฐานของ ASTM C642 [10] และงานวิจัยที่ผ่านมา [1,11-12] การคำนวณหาความพรุนได้ให้ไว้ในสมการที่ (1) ทดสอบกำลังอัดและความพรุนที่อายุ 7 และ 28 วัน

$$P = [(C - A) / (C - D)] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้ P คือ ความพรุนรวม (%) A คือ น้ำหนักอบแห้ง C คือ น้ำหนักแช่ในน้ำ และ D คือ น้ำหนักชั่งในน้ำ

4. การทดสอบการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต

การทดสอบการต้านทานคลอไรด์ใช้ตามมาตรฐานของ ASTM C1202 [13] ดังภาพที่ 4 ทดสอบที่อายุ 7 และ 28 วัน การคำนวณการซึมผ่านคลอไรด์ของคอนกรีตแสดงไว้ในสมการที่ (2) ส่วนในตารางที่ 2 แสดงค่ามาตรฐานการซึมผ่านคลอไรด์ในคอนกรีต

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + 2I_{90} + 2I_{120} + 2I_{150} + 2I_{180} + 2I_{210} + 2I_{240} + 2I_{270} + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360}) \quad (2)$$

มาตรฐานของ ASTM C1202 [13] กำหนดให้ Q คือ ผลรวมของประจุกระแสไฟฟ้าไหลผ่านคอนกรีต (Coulombs) I_0 คือ ค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหลังจากให้แรงดันไฟฟ้าหน่วยเป็นแอมป์ (Amperes) และ I_t คือ ค่ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านคอนกรีตระยะเวลา t นาที ส่วนตารางที่ 2 แสดงค่าเกณฑ์มาตรฐานการซึมผ่านคลอไรด์ของคอนกรีตตามมาตรฐานของ ASTM C1202 [13]

ตารางที่ 2 เกณฑ์มาตรฐานการซึมผ่านคลอไรด์ของคอนกรีตตามมาตรฐานของ ASTM C1202 [13]

ค่า charge passed ของกระแสไฟฟ้ากับระยะเวลา (Coulombs)	ค่าการซึมผ่าน
มากกว่า 4,000	สูง
ระหว่าง 2,000–4,000	ปานกลาง
ระหว่าง 1,000–2,000	ต่ำ
ระหว่าง 100–1,000	ต่ำมาก
น้อยกว่า 100	ไม่ซึมผ่าน

ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

ผลการทดสอบกำลังอัดและร้อยละกำลังอัดแสดงไว้ในภาพที่ 3 และ 4 ซึ่งพบว่า ที่อายุ 7 วัน กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่มวลรวมหยาบด้วยพลาสติก HP ในปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ (10HP) มีค่ากำลังอัดสูงที่ 23 MPa ขณะที่คอนกรีต CT ที่ใช้มวลรวมปกติมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 24 MPa หรือที่อายุ 7 กำลังอัดของคอนกรีต 10HP คิดเป็นร้อยละ 98 ของคอนกรีตควบคุม (CT) วัน ส่วนที่อายุการทดสอบ 28 วัน กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่มวลรวมหยาบด้วยพลาสติก HP ในปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ (10HP) มีค่ากำลังอัดสูงที่ 26.5 MPa ขณะที่คอนกรีต CT ที่ใช้มวลรวมหยาบปกติมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 28.6 MPa หรือกำลังอัดของคอนกรีต 10HP คิดเป็นร้อยละ 96 ของคอนกรีต CT (ที่อายุ 28 วัน)

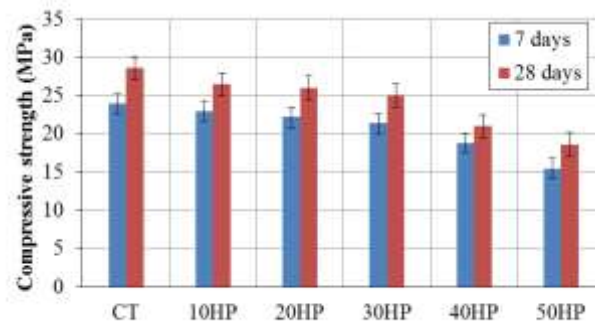
เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่มวลรวมหยาบปกติด้วยพลาสติก HP พบว่า กำลังอัดลดลง ยกตัวอย่าง เช่น คอนกรีต 20HP, 30HP, 40HP และ 50HP มีค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วัน เท่ากับ 22.2, 21.4, 18.8 และ 15.5 MPa หรือคิดเป็นร้อยละ 78, 75, 66 และ 54 ของคอนกรีต CT ส่วนที่อายุ 28 วัน กำลังอัดของคอนกรีต 20HP, 30HP, 40HP และ 50HP มีค่าเท่ากับ 26, 25, 21 และ 18.6 MPa หรือคิดเป็นร้อยละ 80, 77, 65 และ 50 ของคอนกรีต CT

ในการใช้ปริมาณพลาสติก HP แทนที่มวลรวมหยาบในปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบปกติ กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตส่วนผสมอื่นที่ใช้พลาสติก HP เนื่องจากเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการลดกันกับมวลรวมหยาบปกติ และพลาสติก HP มีความทนทานต่อแรงกระแทกสูง [5-6] กล่าวคือ คุณสมบัติของพลาสติก HP ที่เกี่ยวเนื่องในด้านความทนทานต่อแรงกระแทกสูง ส่งผลให้คอนกรีตเกิดความแน่นขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่มวลรวมหยาบปกติด้วยพลาสติก HP กำลังอัดมีแนวโน้มลดลงในทุกส่วนผสม เนื่องจากการเพิ่มปริมาณที่มากขึ้น

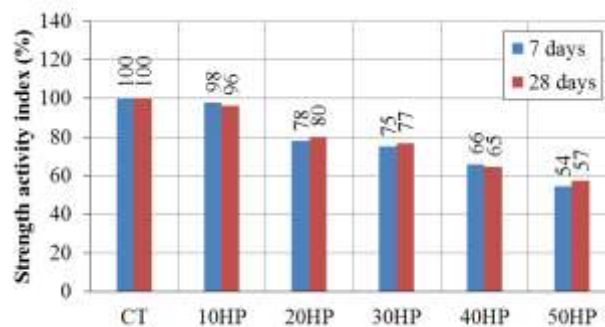
และพื้นที่ผิวที่มีความมันวาวของมวลรวมพลาสติกที่มากขึ้น ดังนั้น จึงส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างวัสดุประสานในคอนกรีตลง กำลังอัดจึงลดลง อีกทั้งพลาสติก HP ไม่ส่งผลในด้านการปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ [14]

2. ผลการทดสอบความพรุนของคอนกรีต

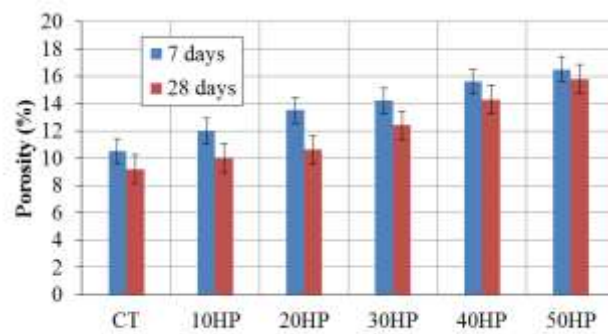
ในส่วนของการทดสอบความพรุนในภาพที่ 5 พบว่า การแทนที่มวลรวมหยาบปกติด้วยพลาสติก HP ในปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบปกติ มีค่าความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีต PH ส่วนผสมอื่น ในทุกอายุการทดสอบ เนื่องจาก ปริมาณของพลาสติก HP ผสมคละกั้นในจำนวนเหมาะสมกับมวลรวมปกติ และความทนต่อแรงกระแทกของพลาสติก HP ส่งผลให้คอนกรีตมีความแน่นทนต่อแรงกดของกำลังอัด [5-6] การทดสอบครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ความพรุนลดลง เมื่อเพิ่มอายุการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากผลของปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ [14] ในภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความพรุน พบว่า เมื่อกำลังอัดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความพรุนลดลง [1, 11-12, 15] ดังนั้น ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเพื่อเลือกกำลังอัดใช้งาน จึงต้องพิจารณาถึงผลของความพรุนของคอนกรีตเป็นสำคัญด้วย



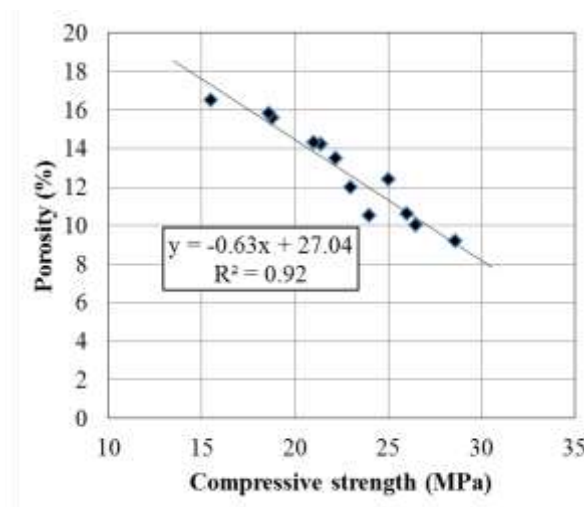
ภาพที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน



ภาพที่ 4 ร้อยละกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน



ภาพที่ 5 ความพรุนของคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน

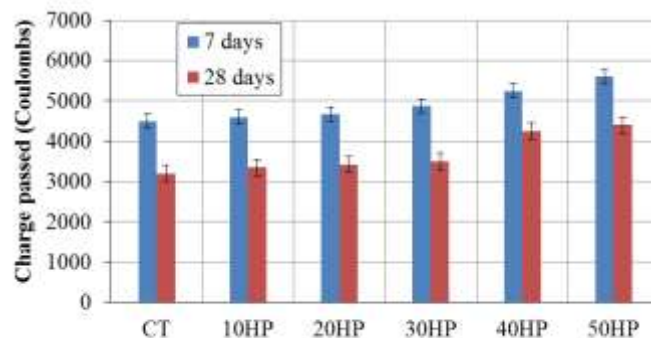


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความพรุนของคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน

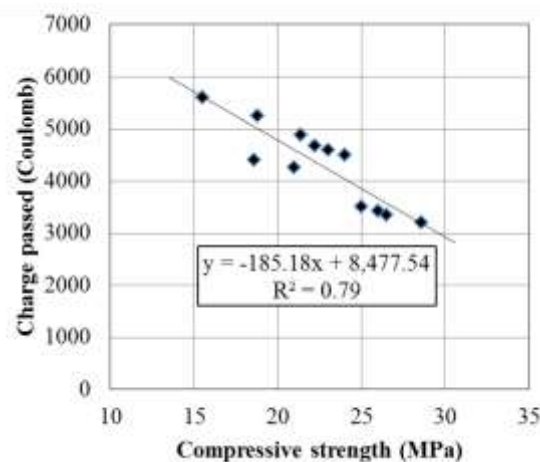
3. ผลการทดสอบการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต

การทดสอบการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตแสดงในภาพที่ 7 ผลการทดสอบ พบว่า การใช้พลาสติก HP แทนที่มวลหยาบปกติในปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบปกติ หรือ 10HP มีค่าการซึมผ่านคลอไรด์ต่ำกว่าคอนกรีต 20HP, 30HP, 40HP และ 50HP กล่าวคือ ที่อายุ 7 วัน คอนกรีต 10HP มีค่าการซึมผ่านคลอไรด์เท่ากับ 4,600 คูลอมบ์ ขณะที่คอนกรีต 20HP, 30HP, 40HP และ 50HP มีค่าการซึมผ่านคลอไรด์เท่ากับ 4,670, 4,880, 5,250 และ 5,650 คูลอมบ์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตามมาตรฐานระดับการซึมผ่านคลอไรด์ที่อายุ 7 วัน แล้ว พบว่า การแทนที่มวลรวมหยาบปกติด้วยพลาสติก HP ในปริมาณร้อยละ 10-50 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบปกติ มีค่าการซึมผ่านคลอไรด์สูงกว่า 4,000 คูลอมบ์ อยู่ในระดับการซึมผ่านที่สูง [13] ในขณะที่ยังพบว่า คอนกรีต 10HP มีค่าการซึมผ่านคลอไรด์เท่ากับ 3,350 คูลอมบ์ ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง [13] เนื่องจากการใช้ปริมาณการแทนที่ที่ร้อยละ 10 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบปกติ พลาสติก HP มีปริมาณการกระจายตัวและรวมตัวกับมวลรวมหยาบปกติที่เหมาะสม จึงสามารถใช้ประโยชน์คุณสมบัติในการทนแรงกระทำได้สูงร่วมกับหินได้ดี ในขณะที่ยังคงการแทนที่ในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้พื้นที่ผิวที่มันวาวของพลาสติกเพิ่มขึ้นจึงลดการยึดเกาะระหว่างซีเมนต์เพสต์กับวัสดุพลาสติกที่เป็นมวลรวมหยาบลง ส่งผลให้ลดความทึบแน่นของคอนกรีตลงตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและการแทรกซึมคลอไรด์ในภาพที่ 8 พบว่า เมื่อกำลังอัดลดลงส่งผลให้การแทรกซึมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ดังนั้นการออกแบบส่วนผสม

คอนกรีต จึงต้องพิจารณาถึงความทึบแน่นของคอนกรีตเป็นสำคัญ เนื่องจากความทึบแน่นมีผลต่อกำลังอัดคอนกรีต [1, 11-12, 15] อย่างไรก็ตาม การพัฒนาอายุการบ่มคอนกรีตให้มากขึ้น ส่งผลให้การต้านทานคลอไรด์ดีขึ้น กล่าวคือ การศึกษานี้พบว่า ที่อายุการทดสอบ 28 วัน ค่าการแทรกซึมคลอไรด์ลดลง ยกตัวอย่าง เช่น คอนกรีต 30HP มีค่าการซึมผ่านคลอไรด์เท่ากับ 4,880 และ 3,500 คูลอมบ์ ที่อายุการทดสอบ 7 และ 28 วัน ตามลำดับ เนื่องจาก การบ่มที่อายุ 28 วัน ส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มขึ้น [14] คอนกรีตจึงมีความทึบแน่นเพิ่มขึ้น นอกจากนั้น การศึกษานี้ยังพบว่า กำลังอัดของคอนกรีตมีการพัฒนาขึ้นตามอายุการทดสอบ (ดูภาพที่ 3)



ภาพที่ 7 การต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน

4. ความเป็นไปได้ในการใช้งานพลาสติก HP เป็นมวลรวมหยาบ

ในตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบกำลังอัด การต้านทานคลอไรด์ และความหนาแน่นของคอนกรีตผสมด้วยพลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene; HP) การทดสอบพบว่า คอนกรีตที่ใช้พลาสติก HP แทนที่มวลรวมหยาบมีค่าน้ำหนักลดลงในทุกส่วนผสมเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม CT ซึ่งจะเป็นผลที่ดีสำหรับการลดน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีตได้ เมื่อพิจารณาในการใช้คอนกรีตในด้านการต้านทานคลอไรด์สำหรับผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ พบว่า ที่อายุ 28 วัน คอนกรีต 10HP, 20HP และ 30HP หรือคอนกรีตที่ใช้พลาสติก HP แทนที่มวลรวมหยาบในปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ มีค่าระดับการซึมผ่านคลอไรด์เท่ากับระดับปานกลาง [13] โดยพบว่ามีค่าระดับซึมผ่านคลอไรด์เท่ากับ กล่าวคือ มีค่าระดับการซึมผ่านคลอไรด์เท่ากับ 3,350-3,500 คูลอมบ์

(ดังแสดงในตารางที่ 3) และมีค่ากำลังอัดสำหรับการใช้งานอยู่ในช่วง 25.0-28.6 MPa (250-286 ksc) ซึ่งอาจใช้ในงานอาคารคอนกรีตขนาดเล็กและงานถนนคอนกรีตได้ ส่วนคอนกรีต 40HP และ 50HP ไม่เหมาะสมในการทำงานโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการการต้านทานคลอไรด์ เนื่องจากระดับค่าการซึมผ่านคลอไรด์มากกว่า 4,000 คูลอมป์ กล่าวคือ มีค่าระดับการซึมผ่านคลอไรด์เท่ากับ 4,250-4,400 คูลอมป์ (ดังแสดงในตารางที่ 3) ซึ่งเป็นค่าการซึมผ่านที่สูง [13] อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณากำลังอัดและไม่คำนึงถึงการใช้งานด้านการต้านทานคลอไรด์ พบว่า กำลังอัดอยู่ในช่วง 18.6-28.6 MPa (186-286 ksc) ซึ่งคอนกรีต 10HP, 20HP, 30HP และ 40HP สามารถใช้ในงานอาคารคอนกรีตขนาดเล็กและงานถนนคอนกรีตได้ ส่วนคอนกรีต 50HP สามารถใช้ในงานคอนกรีตบล็อกรับแรงและคอนกรีตบล็อกปูถนนได้

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบกำลังอัด และการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตผสมด้วยพลาสติก HP ที่อายุ 28 วัน

ชนิดคอนกรีต	กำลังอัด (MPa)	การต้านทานคลอไรด์ (Coulomb)	ความหนาแน่นของคอนกรีต (kg/m^3)
CT	28.6	3,200	2,450
10HP	26.5	3,350	2,250
20HP	26.0	3,420	2,110
30HP	25.0	3,500	2,040
40HP	21.0	4,250	1,980
50HP	18.6	4,400	1,940

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อพัฒนาพลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene) สำหรับใช้แทนที่มวลรวมหยาบในงานคอนกรีตสามารถพิจารณาที่อายุการทดสอบ 28 วัน พบว่า พลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene) สามารถใช้แทนที่มวลรวมหยาบได้ในปริมาณร้อยละ 10-30 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบปกติ ซึ่งมีค่ากำลังอัดอยู่ในช่วง 25.0-28.6 MPa หรือมีค่าร้อยละกำลังอัดอยู่ในช่วงร้อยละ 71-91 ของคอนกรีตควบคุม CT โดยมีค่ากำลังอัดสำหรับการใช้งานในโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการการต้านทานคลอไรด์ได้ กล่าวคือ มีค่าระดับการซึมผ่านคลอไรด์เท่ากับ 3,350-3,500 คูลอมป์ ซึ่งมีค่าระดับการซึมผ่านคลอไรด์ ในระดับปานกลาง [13] การใช้ปริมาณพลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene: HP) แทนที่มวลรวมหยาบในปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบปกติ มีค่ากำลังอัดสูง ความพรุนต่ำ และสามารถต้านทานคลอไรด์ได้ดี เมื่อเทียบกับการใช้ปริมาณพลาสติกชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene: HP) แทนที่มวลรวมหยาบในปริมาณร้อยละ 20-50 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบปกติ เนื่องจากการแทนที่มวลรวมหยาบในปริมาณร้อยละ 10 เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการลดกันกับมวลรวมหยาบปกติ และคุณสมบัติของพลาสติก HP ที่เกี่ยวพันในด้านความทนทานต่อแรงกระแทกสูง ส่งผลให้คอนกรีตเกิดความทึบแน่นขึ้น ส่วนการเพิ่มปริมาณการแทนที่มวลรวมหยาบปกติด้วยพลาสติก HP อาจส่งผลให้เกิดการยึดเกาะระหว่างวัสดุประสานกับมวลรวมลงเนื่องจากพื้นที่ผิวที่มันวาวเพิ่มขึ้นของพลาสติก HP



กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินงานวิจัยขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการวิจัย และ ศูนย์วิจัยโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

1. Rukzon S, Chindaprasirt P. Utilization of bagasse ash in high-strength concrete. *Materials and Design*. 2011; 34: 45-50.
2. Rukzon S, Chindaprasirt P. Strength, Chloride Penetration and Corrosion Resistance of Ternary Blends of Portland Cement Self-compacting Concrete Containing Bagasse Ash and Rice Husk-bark Ash. *Chiang Mai Journal Science*. 2018; 5(4): 1863-1874.
3. Rukzon S, Chindaprasirt P. Strength and porosity of bagasse ash-based geopolymer mortar. *Journal of Applied Sciences*. 2014; 14(6): 586-591.
4. Chindaprasirt P, Rukzon S. Strength and chloride penetration of Portland cement mortar containing rice husk ash and ground river sand. *Materials and Structures* 2015; 48(11): 3771-3777.
5. Taner Y, Tulin S, Tamer S. Fracture characteristics of high impact polystyrene under impact fatigue loadings. *Journal of Material Science*. 2009; 44: 4308-4314
6. Hýlová L, Mizera A, Mizera M, Grund R, Ovsik M. Mechanical Properties Study of High Impact Polystyrene Under Impact and Static Tests. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 448: 012044.
7. ASTM C33. Standard Specification Concrete Aggregates. *Annual Book of ASTM Standards*. 2005; 04.02: 10-20.
8. ASTM C136. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. *Annual Book of ASTM Standards*. 2005; 04.02: 88-92.
9. ASTM C39. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *Annual Book of ASTM Standards*. 2005; 04.02: 21-27.
10. ASTM C642. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*. 2005; 04.02: 338-340.
11. Chindaprasirt P, Chottitanorm C, Rukzon S. Use of palm oil fuel ash to improve chloride and corrosion resistance of high-strength and high-workability concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2011; 23(4): 499-503.
12. Rukzon S, Chindaprasirt P, Mahachai R. Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. 2009; 16(2): 242-247.
13. ASTM C1202. Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. *Annual Book of ASTM Standard*. 2001; 04.02: 646-651.
14. Neville AM. *Properties of concrete*. 4th and Final Edition, Malaysia: Longman Group Limited. 1995.
15. Rukzon S, Chindaprasirt P. Development of Classified Fly Ash as a Pozzolanic Material. *Journal of Applied Sciences*. 2008; 1097-1102.