วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001

บทความวิจัย

อิทธิพลของเถ้าถ่านหินขนาดเดิมและบดละเอียด ต่อกำลังอัด ความพรุน และการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต

ธน ชำนาญกิจ[1] สำเริง รักซ้อน[1*] และ ปริญญา จินดาประเสริฐ[2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

[2] ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[*] ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: sumrerng.ruk@rmutr.ac.th

วันที่รับบทความ: 5 พฤษภาคม 2563; วันที่ทบทวนบทความ: 9 กรกฎาคม 2563; วันที่ตอบรับบทความ: 3 สิงหาคม 2563
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 9 ธันวาคม 2563

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เสนอการศึกษากำลังอัด ความพรุน การต้านทานคลอไรด์ และการกัดกร่อนของคอนกรีตผสมเถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดแตกต่างกัน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 (CT) แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินขนาดเดิม (FAO) เถ้าถ่านหินบดละเอียดปานกลาง (GFAM) และเถ้าถ่านหินบดละเอียดที่สุด (GFAF) ในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน งานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคงที่เท่ากับ 0.45 ใช้สารลดน้ำพิเศษสำหรับเพิ่มความสามารถทำงานได้ของคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่า การใช้เถ้าถ่านหินขนาดละเอียดที่สุด (GFAF) ส่งผลให้ความพรุนของคอนกรีตลดลงและค่ากำลังอัดสูงขึ้น การต้านทานคลอไรด์และการกัดกร่อนของคอนกรีตผสมเถ้าถ่านหินขนาดเดิม (FAO) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 (CT) เพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ: กำลังอัด; การกัดกร่อน; คลอไรด์; คอนกรีต; ความพรุน; เถ้าถ่านหิน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001

บทความวิจัย

Influence of Original and Ground Fly Ash on Compressive Strength, Porosity and Chloride Resistance of Concrete

Thon Chamnankit[1] Sumrerng Rukzon[1*] and Prinya Chindaprasirt[2]

[1] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

[2] Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

[*] Corresponding author, E-mail: sumrerng.ruk@rmutr.ac.th

Received: 5 May 2020; Revised 9 July 2020; Accepted: 3 August 2020
Online Published: 9 December 2020

Abstract: This research presents a study of the compressive strength, porosity, resistance to chloride and corrosion of concrete containing fly ashes with different fineness. Ordinary Portland Cement Type I (CT) was partially replaced with original fly ash (FAO), ground medium fly ash (GFAM) and ground fine fly ash (GFAF) at the dosage levels of 20%, 30% and 40% by weight of cementitious materials. Water to binder ratio with a constant of 0.45 was used in this research. Superplasticizer (SP) was used to improve the workability of concrete. Test results found that the use of fine fly ash (GFAF) produced mixes of concrete with low porosity and good compressive strength. The resistance to chloride and corrosion of original fly ash (FAO) concrete increase in comparison with that of Ordinary Portland Cement Type I (CT).

Keywords: Compressive strength; Corrosion; Chloride, Concrete; Porosity; Fly ash

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001

1. บทนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้ทำเป็นชิ้นส่วนของอาคาร ในการผลิตคอนกรีตนอกจากการออกแบบส่วนผสมให้ได้กำลังอัดตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้งานแล้ว ต้องคำนึงถึงความทนทานของคอนกรีตเป็นสำคัญ เนื่องจากหากคอนกรีตมีอายุการใช้งานที่น้อยเกิดการเสื่อมสภาพเร็วอาจส่งผลกระทบต่อการใช้งาน สิ้นเปลืองค่าดูแลบำรุงรักษา อย่างไรก็ตาม หากคอนกรีตมีความทนทานสูงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นอีกทั้งเสื่อมสภาพช้าลงอาจส่งผลดีต่อการใช้งานในอาคารนั้นๆ ประหยัดค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา โดยการเสื่อมสภาพของคอนกรีตขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมต่างๆ ในแต่ละภูมิประเทศ เช่น การแพร่กระจายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศและการแทรกซึมของคลอไรด์จะส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนและเกิดการหลุดร่อนของเหล็กเสริมคอนกรีต [1-4] ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานอาคารหรือโครงสร้างนั้นได้ ดังนั้น ในปัจจุบัน ความทนทานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นปัจจัยสำคัญที่นักวิจัยให้ความสนใจในการศึกษาอย่างต่อเนื่อง

การแทรกซึมคลอไรด์ คือสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อความคงทนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กกล่าวคือ เมื่อคลอไรด์แทรกซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตจนซึมผ่านไปยังระยะชั้นเคลือบหุ้มคอนกรีต (Covering) จนถึงชั้นเหล็กเสริมสะสมจนถึงค่าระดับที่วิกฤตจะทำให้เริ่มขบวนการกัดกร่อนเหล็กเสริมในคอนกรีตได้ [1, 2, 4] โดยเฉพาะโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ในชายฝั่งทะเลอาจเกิดการกัดกร่อนและเสื่อมสภาพจากสาเหตุจากการทำลายจากการแทรกซึมของเกลือคลอไรด์ได้เร็วขึ้น ที่ผ่านมานักวิจัยและผู้ผลิตคอนกรีตได้ศึกษาถึงการนำวัสดุปอซโซลานมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตโดยเฉพาะในด้านความทนทาน [1-4] วัสดุปอซโซลานที่นิยมใช้และมีอยู่ในประเทศไทยบางชนิด เช่น เถ้าแกลบ เถ้ากันเตา เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เถ้าชานอ้อย เถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้าถ่านหิน เป็นต้น วัสดุเหล่านี้นำมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีตได้ เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีหลัก คือ ซิลิก้าและอลูมิน่าปนอยู่ในตัววัสดุปอซโซลาน องค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยาเพิ่มเติมในคอนกรีตส่งผลให้ปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้น [1-8] อย่างไรก็ตาม การนำวัสดุปอซโซลานไปใช้ในการแทนที่ปูนซีเมนต์ต้องนำไปปรับปรุงขนาดของอนุภาคให้เล็กลงหรือให้มีความละเอียดที่สูงขึ้นด้วยการบดหรือแยกขนาด [5-7] เนื่องจากความละเอียดของวัสดุปอซโซลานส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานซึ่งเป็นปฏิกิริยาเพิ่มเติมระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำในคอนกรีต [5-7, 9] อย่างไรก็ตาม ในการบดวัสดุปอซโซลานอาจสิ้นเปลืองพลังงานและงบประมาณในการบดอาจส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตคอนกรีต งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการมุ่งเน้นพัฒนาการใช้เถ้าถ่านหินขนาดเดิมจากโรงไฟฟ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุงขนาด กล่าวคือ พยายามใช้เถ้าถ่านหินขนาดเดิมโดยไม่ผ่านการบดเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนและนำไปเปรียบเทียบกับเถ้าถ่านหินที่ผ่านการบด ศึกษาอิทธิพลความละเอียดของเถ้าถ่านหินขนาดเดิมและบดละเอียด ต่อกำลังอัด ความพรุน การแทรกซึม คลอไรด์ และการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีต ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001

การใช้งานจริงของเถ้าถ่านหินขนาดเดิมในคอนกรีต ส่งผลให้ลดพลังงานและค่าใช้จ่ายในการบด สามารถใช้เถ้าถ่านหินขนาดเดิมในงานคอนกรีตได้ทันทีโดยลดขั้นตอนการแยกขนาดหรือบดเถ้าถ่านหิน เป็นการต่อยอดการใช้วัสดุกองทิ้งให้เกิดประโยชน์ เพิ่มมูลค่าของเสียที่ไม่มีมูลค่าให้มีมูลค่ามากขึ้น

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ เถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสาน และใช้วัสดุมวลรวม และสารลดน้ำพิเศษ ดังนี้

2.1.1 งานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 เป็นวัสดุประสาน มีความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 3.14

2.1.2 ใช้วัสดุมวลรวมที่มีอยู่โดยทั่วไป ประกอบไปด้วยมวลรวมละเอียด (ทราย) ที่มีขนาดความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 2.82 และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.60

2.1.3 ใช้มวลรวมหยาบ (หิน) ที่มีความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 7.0 และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.74 ใช้ขนาดโตสุดของหินเท่ากับ 12.5 มิลลิเมตร เนื่องจากต้องการความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีต

โดยมวลรวมหยาบและละเอียดมีขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM [10,11]

2.1.4 ใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อควบคุมค่าการยุบตัวและความสามารถทำงานได้ของส่วนผสมคอนกรีตสด

2.1.5 งานวิจัยนี้ ใช้เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าในอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ของประเทศไทย ใช้เถ้าถ่านหินขนาดเดิมที่ได้จากโรงไฟฟ้าโดยตรง และปรับปรุงขนาดความละเอียดด้วยการบดให้มีความละเอียดที่แตกต่างกันเพิ่มขึ้นอีก 2 ขนาด ดังนี้

1) เถ้าถ่านหินขนาดเดิม (FAO) มีปริมาณสัดส่วนค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 30-40 โดยน้ำหนัก

2) เถ้าถ่านหินบดให้มีความละเอียดปานกลาง (GFAM) โดยมีสัดส่วนค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ในปริมาณร้อยละ 15-20 โดยน้ำหนัก

3) เถ้าถ่านหินบดให้มีความละเอียดที่สุด (GFAF) โดยมีสัดส่วนค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ในปริมาณร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก

นำเถ้าถ่านหินทั้ง 3 ขนาด ไปใช้แทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2.2 ส่วนผสมของคอนกรีต

ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคงที่เท่ากับ 0.45 ใช้วัสดุประสานคงที่เท่ากับ 450 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนผสมทุกส่วนผสมใช้สารลดน้ำพิเศษ เพื่อปรับความสามารถการเทได้ของคอนกรีต โดยการศึกษานี้ใช้สารลดน้ำพิเศษชนิด FF โดยใช้ปริมาณที่เหมาะสมตามคำแนะนำของผู้ผลิต ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการแยกตัวของคอนกรีตหากใช้สารลดน้ำพิเศษในปริมาณที่มากจนเกินไป ควบคุมค่าการยุบตัวของคอนกรีตให้ได้เท่ากับ 50-100 มิลลิเมตร ส่วนวัสดุมวลรวมใช้ในปริมาณคงที่ในทุกส่วนผสมเพื่อผลของการวิเคราะห์ข้อมูล วัสดุประสานใช้เถ้าถ่านหินที่ความละเอียดแตกต่างกันประกอบไปด้วย OFA, GFAM และ GFAF แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 ในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001

ใช้แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 มิลลิเมตร สูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ ASTM C39 [12] ภายหลังหล่อคอนกรีตในแบบหล่อคอนกรีต ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 25±3 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นถอดแบบและนำตัวอย่างคอนกรีตบ่มในน้ำสะอาดจนครบอายุการทดสอบ เพื่อนำไปทดสอบ กำลังอัด ความพรุน การต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ ส่วนการกัดกร่อนของเหล็กเสริมคอนกรีตบ่มในน้ำกลั่น ส่วนผสมคอนกรีตแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของคอนกรีต

Mix Proportion (kg/m^3)										
Mix	W/B	Cement (CT)	Fly Ash			Fine Aggregate	Coarse Aggregate	Water	SP	Slump (mm)
			FAO	FAM	FAF					
CT	0.45	450	-	-	-	780	1180	202.5	1.60	50-100
20%FAO	0.45	360	90	-	-	780	1180	202.5	1.40	50-100
30%FAO	0.45	315	135	-	-	780	1180	202.5	1.35	50-100
40%FAO	0.45	270	180	-	-	780	1180	202.5	1.35	50-100
20%GFAM	0.45	360	-	90	-	780	1180	202.5	1.26	50-100
30%GFAM	0.45	315	-	135	-	780	1180	202.5	1.26	50-100
40%GFAM	0.45	270	-	180	-	780	1180	202.5	1.17	50-100
20%GFAF	0.45	360	-	-	90	780	1180	202.5	1.13	50-100
30%GFAF	0.45	315	-	-	135	780	1180	202.5	1.10	50-100
40%GFAF	0.45	270	-	-	180	780	1180	202.5	1.10	50-100

2.3 การทดสอบกำลังอัดและความพรุนของคอนกรีต

ในการทดสอบกำลังอัดและความพรุนของคอนกรีตใช้แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 มิลลิเมตร สูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ ASTM C39 [12] ใช้ตัวอย่างการทดสอบคอนกรีตจำนวน 3 ก้อน เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยกำลังอัด โดยส่วนที่ค่ากำลังอัดแตกต่างจากก้อนอื่นๆ เกินร้อยละ 20 ไม่นำมาคิดหาค่าเฉลี่ยกำลังอัด

ส่วนการทดสอบความพรุนใช้การประยุกต์การทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM C642 และ C1202 [13, 14] งานวิจัยนี้ทดสอบกำลังอัดและความพรุนที่อายุการทดสอบ 7 และ 28 วัน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001

2.4 การทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์

การทดสอบการต้านทานคลอไรด์ใช้ตามมาตรฐานของ ASTM C1202 [14] ดังรูปที่ 1 ขนาดของตัวอย่างคอนกรีตใช้แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และสูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C39 [12] ภายหลังหล่อคอนกรีต 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 25±3 °C จากนั้น ถอดแบบและบ่มในน้ำสะอาด เมื่อครบอายุทดสอบที่อายุ 7 และ 28 วัน ตัดตัวอย่างคอนกรีตที่บริเวณกึ่งกลางหรือที่ระยะ 100 มิลลิเมตร จากนั้นวัดขนาดก้อนตัวอย่างจากจุดกึ่งกลางให้มีความหนาด้านละ 50 มิลลิเมตร ตัดแยกออกจากกันจำนวน 2 ชิ้น นำตัวอย่างที่ตัดเคลือบบริเวณผิวรอบๆ ด้วยอีพอกซีและทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นทดสอบการอิ่มตัวด้วยน้ำและทดสอบการการแทรกซึมของคลอไรด์ ตามมาตรฐานของ ASTM C1202 [14] ที่อายุการทดสอบ 7 และ 28 วัน การคำนวณการซึมผ่านคลอไรด์ของคอนกรีตแสดงไว้ในสมการที่ (1) ส่วนในตารางที่ 2 แสดงค่ามาตรฐานการซึมผ่านคลอไรด์ในคอนกรีต

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + 2I_{90} + 2I_{120} + 2I_{150} + 2I_{180} + 2I_{210} + 2I_{240} + 2I_{270} + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360}) \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้

Q หมายถึง ผลรวมของประจุกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวอย่างทดสอบหน่วยเป็นคูลอมบ์ (Coulombs)

I_0 หมายถึง ค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหลังจากให้แรงดันไฟฟ้าหน่วยเป็นแอมป์ (Amperes)

I_t หมายถึง ค่ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวอย่างที่ระยะเวลา t นาที

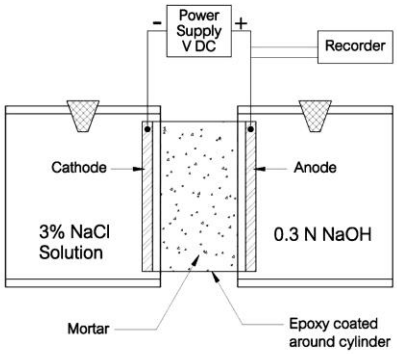
ตารางที่ 2 เกณฑ์มาตรฐานการซึมผ่านคลอไรด์ของคอนกรีตตามมาตรฐานของ ASTM C1202 [14]

ผลรวมของประจุไฟฟ้า (Coulombs)	ระดับการซึมผ่านคลอไรด์
มากกว่า 4,000	การซึมผ่าน สูง
อยู่ระหว่าง 2,000–4,000	การซึมผ่าน ปานกลาง
อยู่ระหว่าง 1,000–2,000	การซึมผ่าน ต่ำ
อยู่ระหว่าง 100–1,000	การซึมผ่าน ต่ำมาก
น้อยกว่า 100	ไม่ซึมผ่าน

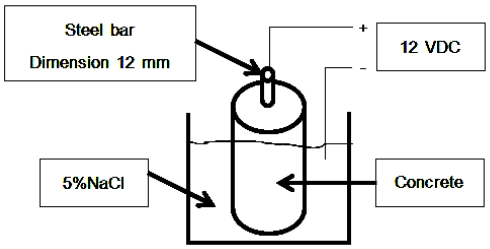
2.5 การทดสอบการกัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์

ใช้ตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และสูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C39 [12] นำเหล็กเสริมคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12 มิลลิเมตร เสียบเข้าไปในบริเวณส่วนกลางของตัวอย่างคอนกรีต โดยพิจารณาระยะหุ้มคอนกรีตให้มวลรวมหยาบสามารถเทได้ วัดจากผิวล่างคอนกรีตถึงปลายล่างเหล็กเสริมเท่ากับ 2.5 เซนติเมตร หลังถอดแบบตัวอย่าง 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 7 และ 28 วัน จากนั้นนำมาทดสอบหาค่าความต้านทานการกัดกร่อนจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และทำการเร่งการทดสอบโดยใช้แรงดันไฟฟ้า 12 VDC ตรวจสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยการดูระยะเวลาที่ทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวบันทึกค่าหน่วยเป็นชั่วโมง (Time of First Crack) ซึ่งมีงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาวิธีการทดสอบด้วยวิธีนี้ [1, 2] การทดสอบการกัดกร่อนแสดงในรูปที่ 2

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001



รูปที่ 1 การทดสอบการต้านทานคลอไรด์ [14]



รูปที่ 2 การทดสอบการกัดกร่อนแบบเร่ง [1, 2]

3. ผลการวิจัย

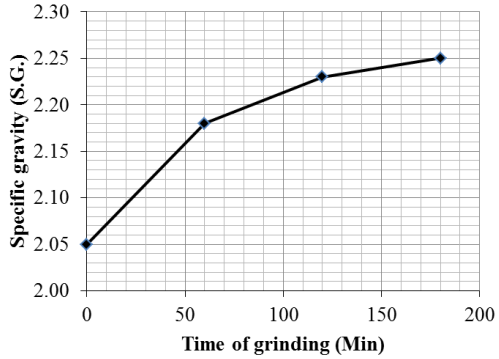
3.1 สมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

ในรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการบดและความถ่วงจำเพาะของเถ้าถ่านหิน ในรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการบดกับพื้นที่ผิวด้วยวิธีของเบลนของเถ้าถ่านหิน ผลทดสอบพบว่า เมื่อนำเถ้าถ่านหินขนาดเดิมบดเป็นเวลา 60, 120 และ 180 นาที ส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าถ่านหินเพิ่มเป็น 2.18, 2.24 และ 2.25 ในขณะที่เถ้าถ่านหินขนาดเดิมมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.05 และเมื่อบดเถ้าถ่านหินในเวลา 60, 120 และ 180 นาที พื้นที่ผิวหรือความละเอียดโดยวิธีของเบลนมีค่าเท่ากับ 3,480-3,750 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ส่วนเถ้าถ่านหินขนาดเดิมมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 3,200 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ดังแสดงในตารางที่ 3 การทดสอบชี้ให้เห็นว่า การปรับปรุงขนาดของเถ้าถ่านหินด้วยการบดให้มีขนาดลดลง ส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดเพิ่มขึ้น [5] ในงานวิจัยนี้คัดเลือกขนาดความละเอียดของเถ้าถ่านหินสำหรับใช้เป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ จำนวน 3 ขนาด คือ เถ้าถ่านหินขนาดเดิม (FAO) และเถ้าถ่านหินที่มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 3,480 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ใช้เป็นขนาดความละเอียดปานกลาง (GFAM) และใช้เถ้าถ่านหินที่มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 3,750 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ใช้เป็นขนาดความละเอียดที่สุด (GFAF) ในตารางที่ 3 และรูปที่ 5 แสดงสมบัติทางกายภาพและขนาดการกระจายตัว (Particle Size Distribution) ของเถ้าถ่านหินซึ่งพบว่า เถ้าถ่านหิน FAO, GFAM และ GFAF มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 30, 15 และ 5 ไมครอน ตามลำดับ ในตารางที่ 4 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของ CT มีค่า CaO เท่ากับร้อยละ 77.3, ส่วนค่า SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 16.0, 1.3 และ 1.1 ตามลำดับ ในส่วนของเถ้าถ่านหิน พบว่า เถ้าถ่านหิน FAO GFAM และ GFAF มีผลรวมของ SiO_2+ Al_2O_3+ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 81.3, 81.4 และ 82.0 ตามลำดับ ซึ่งผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าในการบดเถ้าถ่านหินไม่ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมี [5, 7] และองค์ประกอบทางเคมีหลักของเถ้าถ่านหิน FAO, GFAM และ GFAF คือ ซิลิก้าและอลูมิน่า

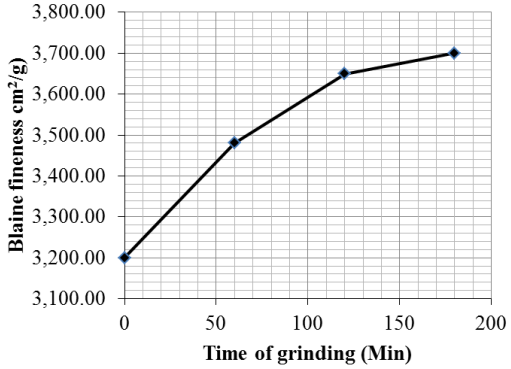
ส่วนในรูปที่ 6-8 แสดงภาพถ่ายขยายกำลังสูงของเถ้าถ่านหิน FAO, GFAM และ GFAF พบว่า เมื่อบด

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001

เถ้าถ่านหิน ขนาดอนุภาคที่เล็กบางส่วนลูกบดไม่สามารถบดได้ทั่วถึงและยังคงเป็นรูปทรงกลมอยู่ [7]



รูปที่ 3 ผลของระยะเวลาการบดต่อความถ่วงจำเพาะ



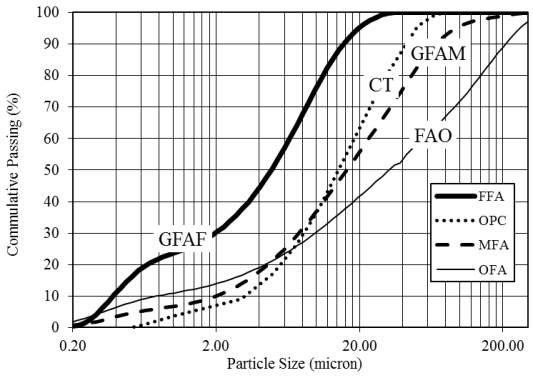
รูปที่ 4 ผลของระยะเวลาการบดต่อพื้นที่ผิวจำเพาะ

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 (CT) และเถ้าถ่านหิน FAO, GFAM และ GFAF

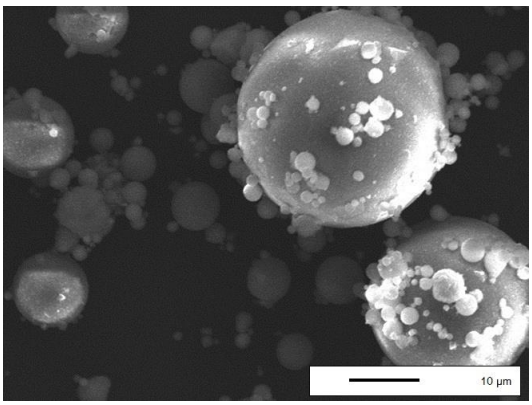
สมบัติทางกายภาพ	CT	FAO	GFAM	GFAF
Median particle size (μm), d_{50}	14.00	32.00	16.00	5.00
Retained on a sieve No. 325 (%)	-	30-40	15-20	0-5
Specific Gravity	3.14	2.05	2.24	2.25
Blaine Fineness (cm^2/g)	3,400	3200	3480	3750

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 เถ้าถ่านหิน FAO GFAM และ GFAF

Oxides (%)	CT	FAO	GFAM	GFAF
SiO_2	16.0	51.0	51.2	51.2
Al_2O_3	1.3	28.0	27.8	28.2
Fe_2O_3	1.1	2.3	2.4	2.6
CaO	77.3	2.3	2.4	2.4
SiO_2+ Al_2O_3+ Fe_2O_3	-	81.3	81.4	82.0

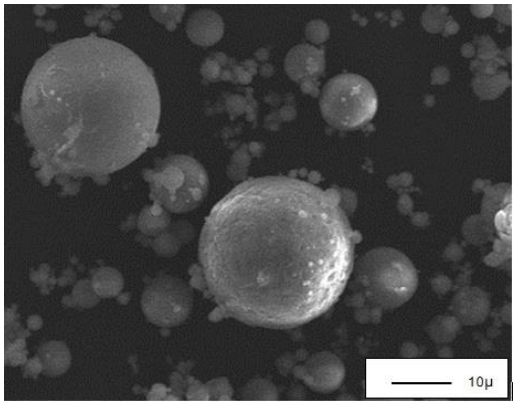


รูปที่ 5 Particle Size Distribution ของเถ้าถ่านหิน FAO, GFAM และ GFAF

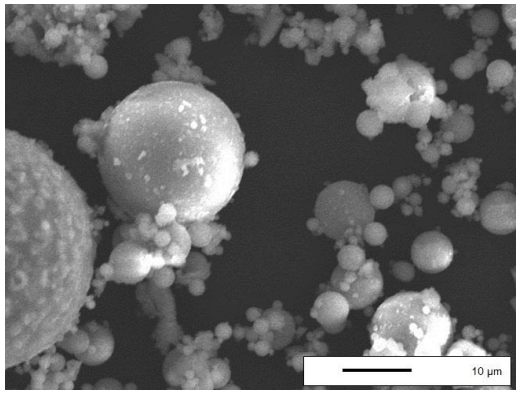


รูปที่ 6 SEM Photograph ของเถ้าถ่านหิน FAO

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001



รูปที่ 7 SEM photograph ของเถ้าถ่านหิน GFAM



รูปที่ 8 SEM photograph ของเถ้าถ่านหิน GFAF

3.2 ความต้องการสารลดน้ำพิเศษของคอนกรีต

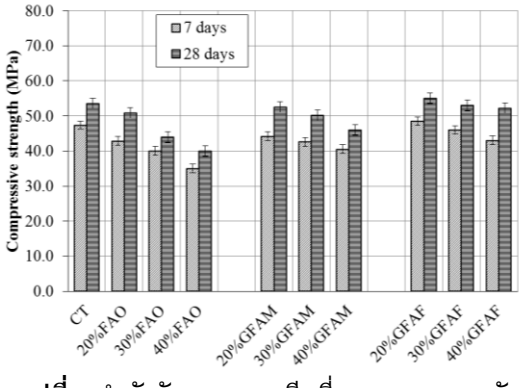
ในตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งส่วนผสมของคอนกรีตใช้สารลดน้ำพิเศษเพิ่มเติม เนื่องจากต้องการความสามารถทำงานได้โดยควบคุมที่ค่าการยุบตัวเท่ากับ 50-100 มิลลิเมตร ผลการทดสอบพบว่า เมื่อกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคงที่เท่ากับ 0.45 และใช้น้ำเท่ากับ 202.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่งผลให้ส่วนผสมคอนกรีตต้องการสารลดน้ำพิเศษเพิ่มเติม การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ส่งผลให้ส่วนผสมคอนกรีตต้องการสารลดน้ำพิเศษเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดอนุภาคของเถ้าถ่านหินที่กลมตันและผ่านการบดให้มีความละเอียดให้มีขนาดอนุภาคลดลง ขนาดอนุภาคกลมตันดังกล่าวสามารถเข้าไปอุดรูโพรงภายในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความทึบแน่นมากขึ้น [1, 5-7] ยกตัวอย่าง เช่น คอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินบดละเอียด GFAF แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ต้องการสารลดน้ำพิเศษในปริมาณ 1.13, 1.10 และ 1.10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพียงอย่างเดียวหรือคอนกรีตควบคุมต้องการสารลดน้ำพิเศษในปริมาณเท่ากับ 1.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน ส่งผลให้ความต้องการสารลดน้ำพิเศษในส่วนผสมคอนกรีตลดลง และเมื่อใช้เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดที่มากขึ้นส่งผลให้ลดปริมาณความต้องการสารลดน้ำพิเศษลง

3.3 กำลังอัดของคอนกรีต

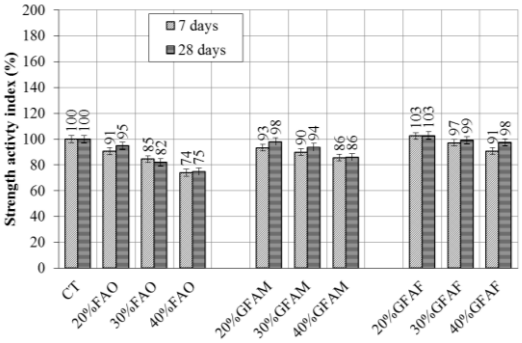
ในรูปที่ 9 และ 10 แสดงผลกระทบของปริมาณร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินและอิทธิพลของความละเอียดของเถ้าถ่านหิน OFA, GFAM และ GFAF ต่อกำลังอัดและดัชนีกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งพิจารณากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า การใช้เถ้าถ่านหินขนาดเดิมและขนาดละเอียดปานกลางแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ส่งผลให้กำลังอัดลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม (CT) ในทุกส่วนผสม โดยทุกส่วนผสมมีค่าร้อยละกำลังอัดอยู่ในช่วง 74-98 ของ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001

CT อย่างไรก็ตาม พบว่าการใช้เถ้าถ่านหินขนาดละเอียดที่สุดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุม กล่าวคือ ที่อายุการทดสอบ 7 และ 28 วัน คอนกรีต 20%GFAF มีค่าร้อยละกำลังอัดเท่ากับ 103 ของคอนกรีตควบคุม ในขณะที่คอนกรีต 30%GFAF และ 40%GFAF มีค่าร้อยละกำลังอัดเท่ากับ 97-99 ของคอนกรีตควบคุม คอนกรีตมีการพัฒนากำลังอัดตามอายุการทดสอบ กล่าวคือ ที่อายุการทดสอบ 28 วัน คอนกรีตมีกำลังอัดสูงกว่าที่อายุการทดสอบ 7 วัน เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำและการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานเพิ่มเติมจากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหิน [9,15] การทดสอบครั้งนี้พบว่า การเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าถ่านหินส่งผลให้กำลังอัดลดลง ยกตัวอย่างเช่น ที่อายุการทดสอบ 28 วัน กำลังอัดของคอนกรีต 20%GFAF มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 55 MPa ในขณะที่คอนกรีต 30%GFAF และ 10%GFAF มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 53 และ 52 MPa ตามลำดับ การใช้เถ้าถ่านหินขนาดละเอียดที่สุดมีแนวโน้มค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินขนาดละเอียดปานกลางและขนาดเดิม ตามลำดับ เนื่องจาก ความละเอียดของวัสดุปอซโซลานซึ่งมีพื้นที่ผิวที่มาก ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้มากขึ้น [1, 5-7, 9, 15] ปริมาณของซิลิก้าและอลูมิน่าในวัสดุปอซโซลานทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท เพิ่มความทึบแน่นให้กับคอนกรีตลดปริมาณโพรงในเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้กำลังอัดมีค่าสูงขึ้น [1, 2, 5, 7, 15] อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบพบว่า การใช้เถ้าถ่านหินขนาดเดิมแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าดัชนีของกำลังอัดอยู่ในช่วงร้อยละ 74-95 ของคอนกรอนกรีตควบคุม เมื่อพิจารณาถึงการนำคอนกรีตไปใช้ในงานโครงสร้างแล้ว พบว่าสามารถใช้เถ้าถ่านหินขนาดเดิมแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 20-30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ซึ่งมีดัชนีกำลังอัดอยู่ในช่วงร้อยละ 82-95 ของคอนกรีตควบคุม หรือมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 44-51 MPa ซึ่งมีกำลังอัดค่อนข้างสูงสำหรับการใช้งานในโครงสร้างคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตกำลังสูง



รูปที่ 9 กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน

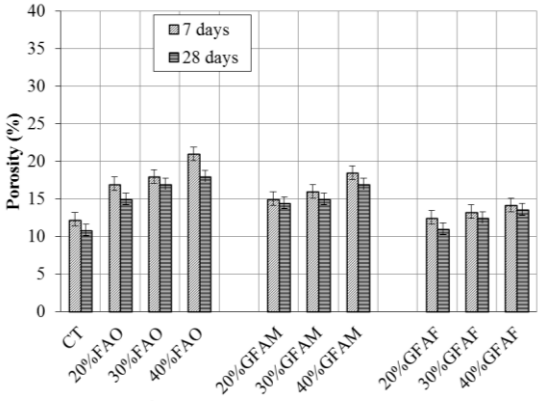


รูปที่ 10 ร้อยละกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001

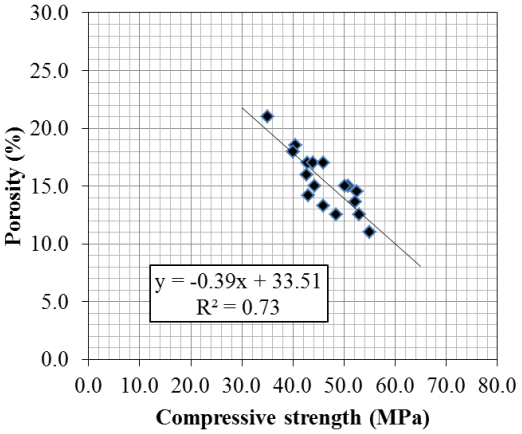
3.4 ความพรุนของคอนกรีต

ในรูปที่ 11 แสดงผลการทดสอบความพรุนของคอนกรีตในทุกส่วนผสมที่อายุการทดสอบ 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบครั้งนี้พบว่า การใช้เถ้าถ่านหินขนาดเดิมแทนที่ปูนซีเมนต์มีแนวโน้มส่งผลให้ความพรุนของคอนกรีตเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ขนาดอนุภาคที่ยังมีขนาดใหญ่อยู่ของเถ้าถ่านหินอาจแทรกตัวเข้าไปอุดช่องว่างโพรงคอนกรีตได้น้อย อย่างไรก็ตาม การทดสอบนี้ชี้ให้เห็นว่า การใช้เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดมากขึ้นหรือขนาดละเอียดที่สุด ส่งผลให้ความพรุนของคอนกรีตลดลง เนื่องจาก ขนาดอนุภาคที่เล็กของเถ้าถ่านหินสามารถแทรกตัวเข้าไปอุดโพรงภายในของคอนกรีตได้มากขึ้น



รูปที่ 11 ความพรุนของคอนกรีต

ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต จึงควรพิจารณาถึงความพรุนของคอนกรีตเป็นสำคัญ ในรูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความพรุนของคอนกรีต ซึ่งพบว่า เมื่อความพรุนของคอนกรีตลดลง ส่งผลให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น [5] นอกจากนั้น ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า ความพรุนของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงตามอายุของการทดสอบที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังรูปที่ 11 อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาเฉพาะในส่วนของความพรุนรวม หรือ Total porosity เท่านั้น และจะได้ศึกษาในส่วนของขนาดของโพรง (pore size) ต่อไป



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความพรุนของคอนกรีต

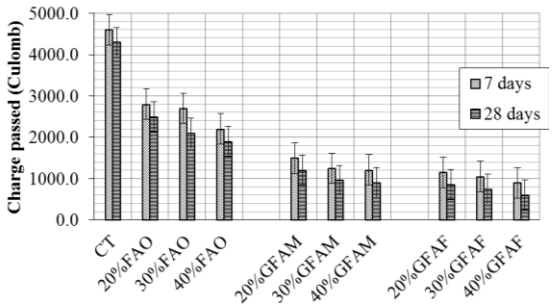
3.5 การต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต

รูปที่ 13 แสดงผลการทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตผสมเถ้าถ่านหินที่ความละเอียดต่างกัน ที่อายุการทดสอบ 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ส่งผลให้คอนกรีตต้านทานคลอไรด์ได้ดีในทุกส่วนผสม ยกตัวอย่าง เช่น คอนกรีต CT มีค่าการแทรกซึมผ่านคลอไรด์เท่ากับ 4,600 และ 4,300 คูลอมบ์ ที่อายุการทดสอบ 7 และ 28 วัน ตามลำดับ ในขณะที่คอนกรีต 20%FAO มีค่าการแทรกซึมผ่านคลอไรด์เท่ากับ 2,800 และ 2,500 คูลอมบ์ ที่อายุการทดสอบที่ 7 และ 28 วัน ตามลำดับ การเพิ่มอายุการทดสอบส่งผลให้การแทรกซึมคลอไรด์ลดลงตามไปด้วย กล่าวคือ คอนกรีต 40%FAO มีค่าการแทรกซึม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001

คลอไรด์เท่ากับ 2,200 และ 1,900 คูลอมบ์ ที่อายุการทดสอบ 7 และ 28 วัน ตามลำดับ การแทนที่เถ้าถ่านหินในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้คอนกรีตสามารถต้านทานคลอไรด์ได้เพิ่มขึ้น ยกตัวอย่าง เช่น ที่อายุ 28 วัน คอนกรีต 20%FAO, 30%FAO และ 40%FAO มีค่าการแทรกซึมคลอไรด์เท่ากับ 2,500, 2,100 และ 1,900 คูลอมบ์ เนื่องจากปริมาณของซิลิก้าที่บรรจุอยู่ในวัสดุปอซโซลานสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์กลายเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท ซึ่งกระจายตัวและแทรกเข้าไปในโพรงของคอนกรีตและกลายเป็นผลึกเกลือ [1,2,4,15] ผลที่ได้คือผลึกเกลือดังกล่าวนี้จะเข้าไปอุดรูโพรงในคอนกรีตส่งผลให้ลดการซึมผ่านคลอไรด์ และการใช้เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดมากขึ้นส่งผลให้สามารถต้านทานคลอไรด์ได้ดีขึ้น เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กของเถ้าถ่านหินและพื้นที่ผิวจำเพาะที่สูงสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้มากขึ้น [1,2,4]

ในการใช้เถ้าถ่านหินขนาดเดิม (FAO) พบว่า ลดการแทรกซึมคลอไรด์ได้ดีเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วนหรือคอนกรีตควบคุม (CT) กล่าวคือ การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต 20%FAO, 30%FAO และ 40%FAO มีค่าอยู่ในช่วง 1,900-2,500 คูลอมบ์ (ที่อายุ 7 และ 28 วัน) เมื่อพิจารณาที่อายุ 28 วัน พบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าถ่านหินขนาดเดิมมีค่าการแทรกซึมคลอไรด์เท่ากับ 1,900 คูลอมบ์ ซึ่งพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานของ ASTM C1202 [14] อยู่ในช่วงการแทรกซึมคลอไรด์ระดับต่ำ ในขณะที่คอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วนมีการแทรกซึมคลอไรด์อยู่ในระดับสูงกว่า (ระดับสูง อยู่ในช่วงมากกว่า 4,000 คูลอมบ์) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงชี้ให้เห็นว่า สามารถนำเถ้าถ่านหินขนาดเดิมเป็นส่วนผสมคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อผลิตคอนกรีตในการใช้ต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ได้ดี



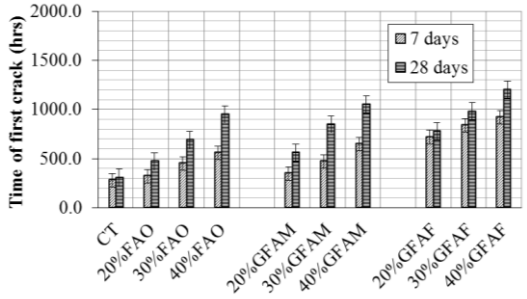
รูปที่ 13 การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตด้วย ASTM C1202 [14] (Charge Passed)

3.6 การต้านทานการกัดกร่อน

ในรูปที่ 14 แสดงผลการวัดค่าการแตกร้าวของคอนกรีตเมื่อทดสอบแบบเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อนด้วยแรงดันไฟฟ้า หน่วยวัดเป็นชั่วโมง โดยพิจารณาจากการแตกร้าว (First of Crack) ผลการทดสอบมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับผลการทดสอบคลอไรด์ ซึ่งแตกต่างกันเพียงหน่วยการวัดค่าเท่านั้น ผลการทดสอบพบว่า ค่าการแตกร้าวของคอนกรีตควบคุมด้วยการใช้ปูนซีเมนต์ล้วนอยู่ที่ 305 ชั่วโมง ที่อายุการทดสอบ 28 วัน ในขณะที่คอนกรีตที่ผสมด้วยเถ้าถ่านหินมีค่าการแตกร้าวอยู่ในช่วง 470-1,200 ชั่วโมง ที่อายุการทดสอบ 28 วัน ผลการทดสอบนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดี เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน [1, 15] การเพิ่มปริมาณการแทนที่เถ้าถ่านหินส่งผลให้ต้านทานการกัดกร่อน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001

ได้ดีขึ้นและเมื่อใช้เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดมากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาการแตกร้าวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกา สามารถยับยั้งอิออนของคลอไรด์ได้ดี [1, 2, 4, 15] อย่างไรก็ตาม ในการศึกษา พบว่าคอนกรีต 40%GFAF ที่อายุการทดสอบ 28 วัน เมื่อครบระยะเวลา 1,200 ชั่วโมง คอนกรีตยังไม่แตกร้าว และได้หยุดการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป แม้ว่าผลทดสอบจะแสดงให้เห็นว่าการใช้เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดที่สุดสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดีเมื่อเทียบกับขนาดที่หยาบกว่า อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบพบว่า การใช้เถ้าถ่านหินขนาดเดิมสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดีเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน ดังนั้นจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการใช้เถ้าถ่านหินขนาดเดิมที่ไม่ปรับปรุงขนาดสำหรับผลิตคอนกรีต



รูปที่ 14 ระยะเวลาการแตกของคอนกรีตแบบเร่งการทดสอบการกัดกร่อน (Time of First Crack)

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพัฒนาเถ้าถ่านหินเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อเพิ่มความทนทานของคอนกรีตครั้งนี้พบว่า เถ้าถ่านหินขนาดเดิมสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 20-30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ซึ่งมีดัชนีกำลังอัดอยู่ในช่วงร้อยละ 82-95 ของคอนกรีตควบคุม หรือมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 44-51 MPa ซึ่งมีกำลังอัดสำหรับการใช้งานในโครงสร้างคอนกรีตได้

การใช้เถ้าถ่านหินขนาดเดิม สามารถต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์และต้านทานการกัดกร่อนได้ดีกว่าคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ล้วน (CT) การเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินส่งผลให้คอนกรีตมีแนวโน้มต้านทานคลอไรด์และการกัดกร่อนได้เพิ่มขึ้น

การใช้เถ้าถ่านหินขนาดละเอียดมากขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น ลดความพรุน ต้านทานคลอไรด์และการต้านการกัดกร่อนได้เพิ่มขึ้น ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตต้องคำนึงถึงความพรุนของคอนกรีต เนื่องจากเมื่อความพรุนของคอนกรีตมีค่าต่ำส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น เนื่องจากผลของการทึบแน่นของคอนกรีต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนสถานที่วิจัยจากสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และได้รับสนับสนุนวัสดุวิจัยจากศูนย์วิจัยโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Rukzon and P. Chindaprasirt, 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 of Sciences, 2018, 45(4), 863-1874.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001

[2] S. Rukzon and P. Chindaprasirt, Use of Ternary Blend of Portland Cement and Two Pozzolans to Improve Durability of High-Strength Concrete, KSCE Journal of Civil Engineering, 2014,18(6), 1745-1752.

[3] A. Sathonsaowapark, P. Chindaprasirt and K. Pimraksa, Workability and Strength of Lignite Bottom Ash Geopolymer Mortar, Journal of Harzadous Materials, 2009, 168, 44-50.

[4] P. Chindaprasirt, S. Rukzon and V. Sirivivatnanon, Resistance to Chloride Penetration of Blended Portland Cement Mortar Containing Palm Oil Fuel Ash, Rice Husk Ash and Fly Ash, Construction and Building Materials, 2008, 22(5), 932-938.

[5] S. Rukzon, P. Chindaprasirt and R. Mahacha, Effect of Grinding on Chemical and Physical Properties of Rice Husk Ash, International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 2009, 16(2), 242-247.

[6] S. Rukzon and P. Chindaprasirt, Strength and Carbonation Model of Rice Husk Ash Cement Mortar with Different Fineness, Journal of Materials in Civil Engineering, 2010, 22(3), 253-259.

[7] S. Rukzon and P. Chindaprasirt, Development of Classified Fly Ash as a Pozzolanic Material, Journal of Applied Sciences, 2008, 8(6), 1097-1102.

[8] P. Chindaprasirt and W. Chalee, Effect of Sodium Hydroxide Concentration on Chloride Penetration and Steel Corrosion of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete under Marine Site, Construction and Building Materials, 2014, 63, 303-310.

[9] A.M. Neville, Properties of Concrete, 4th and Final Ed., Longman Group Limited., Malaysia, 1995.

[10] ASTM C33, Standard Specification Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards 04.02, 2005, 10-20.

[11] ASTM C136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, Annual Book of ASTM Standards 04.02, 2005, 88-92.

[12] ASTM C39, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards 04.02, 2005, 21-27.

[13] ASTM C642, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, Annual Book of ASTM Standards 04.02, 2005, 338-340.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.12.001

[14] ASTM C1202, Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, Annual Book of ASTM Standard 04.02, 2001, 646-651.

[15] S. Rukzon and P. Chindaprasirt, Utilization of Bagasse Ash in High-Strength Concrete, Materials and Design, 2012, 34, 45-50.