บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้แก่ วัสดุปอซโซลาน ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น กากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เถ้าปาล์มน้ำมัน มวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีต คุณสมบัติด้านความทนทานของคอนกรีตได้แก่ การซึมของน้ำผ่านคอนกรีต และการแทรกซึมของคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีต รวมถึงงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุปอซโซลาน

วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) ตามนิยามของ ASTM C618 (American Society of Testing and Materials, 2008) หมายถึง วัสดุที่มีซิลิกา (Siliceous) หรือซิลิกาและอลูมินา (Siliceous and Aluminous) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปวัสดุปอซโซลานมีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานน้อยมากหรือไม่มีเลย แต่เมื่อมีความละเอียดสูงและมีความชื้นเพียงพอสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่อุณหภูมิปกติ และได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานคล้ายกับปูนซีเมนต์ ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction)

2.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปฏิกิริยาปอซโซลาน

เมื่อปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration Reaction) และมีผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาที่สำคัญ คือแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO{\cdot}2SiO_2{\cdot}3H_2O$ หรือ C-S-H) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ดังแสดงในสมการที่ (2.1) ถึง (2.2)

$$2(3CaO{\cdot}SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO{\cdot}2SiO_2{\cdot}3H_2O + 3Ca(OH)_2 \qquad (2.1)$$

$$2(2CaO{\cdot}SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO{\cdot}2SiO_2{\cdot}3H_2O + Ca(OH)_2 \qquad (2.2)$$

ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายหลังจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์กับน้ำ โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่เกิดจากสมการที่ (2.1) และ (2.2) เป็นสารตั้งต้นทำปฏิกิริยาร่วมกับซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ในวัสดุปอซโซลาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาปอซโซลาน คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมิเนียมไฮเดรต (C-A-H) ดังแสดงในสมการที่ (2.3) และ (2.4)

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \longrightarrow xCaO{\cdot}ySiO_2{\cdot}zH_2O \qquad (2.3)$$

$$Ca(OH)_2 + Al_2O_3 + H_2O \longrightarrow xCaO{\cdot}yAl_2O_3{\cdot}zH_2O \qquad (2.4)$$

ค่า x, y และ z ในสมการที่ (2.3) และ (2.4) เป็นค่าที่แปรไปตามชนิดของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (C-A-H) ซึ่งทั้ง C-S-H และ C-A-H ที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานนี้ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นและลดช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ ส่งผลให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นขึ้น

2.3 กากแคลเซียมคาร์ไบด์

กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำในกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีน ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมงานเชื่อม โดยปกติกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ปล่อยทิ้งจากโรงงานมีลักษณะเป็นโคลนเหลวสีเทาอมขาว เมื่อปล่อยให้ตกตะกอนและแห้งตามธรรมชาติแล้วกากแคลเซียมคาร์ไบด์จะจับตัวเป็นก้อนและมีสีขาวเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นมีปริมาณลดลง

กระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีนทำได้โดยนำหินปูน ($CaCO_3$) เข้าเตาหลอม จากกระบวนการนี้ได้ผลผลิตคือปูนขาว (CaO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ตามสมการที่ (2.5)

$$\underset{\text{(Lime Stone)}}{CaCO_3} \xrightarrow[\text{เผา}]{} \underset{\text{(Lime)}}{CaO} + \underset{\text{(Carbondioxide)}}{CO_2} \qquad (2.5)$$

หลังจากนั้น เติมถ่านโค้กในขณะที่ปูนขาว (CaO) อยู่ในเตาหลอม จะได้แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) ตามสมการที่ (2.6)

$$\underset{\text{(Lime)}}{CaO} + \underset{\text{(Coke)}}{3C} \xrightarrow[\text{เผา}]{} \underset{\text{(Calcium Carbide)}}{CaC_2} + \underset{\text{(Carbonmonoxide)}}{CO} \qquad (2.6)$$

นำแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) ที่ได้จากสมการที่ (2.6) ไปทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้ก๊าซอะเซทิลีน (C_2H_2) และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ซึ่งเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ตามสมการที่ (2.7)

$$\underset{\text{(Calcium Carbide)}}{CaC_2} + \underset{\text{(Water)}}{2H_2O} \longrightarrow \underset{\text{(Acetylene)}}{C_2H_2} + \underset{\text{(Calcium Hydroxide)}}{Ca(OH)_2} \qquad (2.7)$$

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเคมีอยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลว มีสภาพความเป็นด่างสูง มีสีขาวหรือสีเทาอมขาว จากสมการที่ (2.7)

2.3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์และวัสดุปอซโซลาน

ปิติศานต์ กร้ำมาตร และคณะ (2539) ได้นำส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าถ่านหินมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนปูนซีเมนต์ โดยพบว่าอัตราส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 30 ต่อเถ้าถ่านหินร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ให้กำลังอัดของมอร์ต้าร์ดีที่สุดที่อายุ 90 วัน เท่ากับ 209 กก/ซม^2 และยังเสนอให้มีงานวิจัยเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาวัสดุทั้งสองชนิดนี้

ต่อมา สุภิชาติ มาตย์ภูธร (2541) ทำการศึกษาผลกระทบของขนาดอนุภาคเถ้าถ่านหินกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เผาและไม่เผาต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์ ในการศึกษาได้แบ่งกากแคลเซียมคาร์ไบด์ออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกไม่เผาและส่วนที่สองนำไปเผาที่อุณหภูมิ 200, 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส นำไปผสมกับเถ้าถ่านหินคัดขนาด 3 ขนาด โดยใช้อัตราส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าถ่านหินเท่ากับ 30 ต่อ 70 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่ามอร์ต้าร์ที่ใช้เถ้าถ่านหินผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์เผาที่อุณหภูมิ 200 และ 400 องศาเซลเซียส ให้ค่ากำลังอัดที่สูง และมีระยะเวลาการก่อตัวที่น้อยกว่ามอร์ต้าร์ที่ใช้เถ้าถ่านหินผสมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ไม่เผา และมอร์ต้าร์ที่ใช้เถ้าถ่านหินขนาดอนุภาค 5 ไมโครเมตร เมื่อนำมาผสมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์เผาที่อุณหภูมิ 200 และ 400 องศาเซลเซียส พบว่าให้กำลังอัดของมอร์ต้าร์ใกล้เคียงกำลังอัดของมอร์ต้าร์ควบคุม โดยให้กำลังอัดที่อายุ 90 วัน ประมาณ 300 กก/ซม^2 และในส่วนของกากแคลเซียมคาร์ไบด์เผาที่อุณหภูมิ 600 และ 800 องศาเซลเซียส ให้ค่ากำลังอัดต่ำกว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์เผาที่อุณหภูมิ 200 และ 400 องศาเซลเซียส

ศราวุธ เริงฤทธิ์ (2544) ทำการศึกษาผลกระทบของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าแกลบเพื่อใช้เป็นวัสดุประสานแทนปูนซีเมนต์ อัตราส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 50 ต่อเถ้าแกลบร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก พบว่าคอนกรีตให้กำลังอัดที่อายุ 28 และ 180 วัน เท่ากับ 117 และ 192 กก/ซม^2 ตามลำดับ ต่อมา ชรินทร์ นมรักษ์ และคณะ (2545) ได้นำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินที่แยกขนาดให้มีความละเอียดสูงขึ้น ใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 30 ต่อเถ้าถ่านหินร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก พบว่าคอนกรีตให้ค่ากำลังอัดสูงสุดที่อายุ 90 วัน เท่ากับ 205 กก/ซม^2 โดยใช้วัสดุประสาน 375 กก/ม^3 และกำลังอัดของคอนกรีตมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำลง

ธนพล เหล่าสมาธิกุล (2551) ศึกษาอัตราส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มาใช้เป็นวัสดุประสานทดแทนปูนซีเมนต์ โดยพบว่าอัตราส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 50 ต่อเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ร้อยละ 50 ให้ค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์สูงสุดที่อายุ 28 วันเท่ากับ 70 กก/ซม^2 จากนั้นออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตให้มีปริมาณวัสดุประสานเท่ากับ 450 กก/ม^3 และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ให้ค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วันเท่ากับ 103 กก/ซม^2 และคอนกรีตมีการพัฒนากำลังอัดโดยให้ค่ากำลังอัดตามอายุที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 123 กก/ซม^2 ที่อายุ 90 วัน โดยไม่มีปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม

ต่อมา Makaratat และคณะ (2010) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสาน โดยนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์บดผสมกับเถ้าถ่านหินบด (GF) และไม่บด (OF) เป็นวัสดุประสาน และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.65, 0.53 และ 0.45 ตามลำดับ โดยศึกษาผลของความละเอียดและค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ที่มีผลต่อระยะเวลาการก่อตัว กำลังอัด กำลังดึงผ่าซีก และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำและวัสดุประสานมีความละเอียดสูงขึ้นส่งผลดีต่อคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต ซึ่งคอนกรีตมีค่ากำลังอัดสูงถึง 345 กก/ซม^2 ที่อายุ 180 วัน โดยไม่มีปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม

จากนั้น Makaratat และคณะ (2011) ศึกษาผลกระทบของการใช้แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ต่อกำลังของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหิน พบว่าการใช้แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารเร่งกำลังทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติการเทได้สูงขึ้นและสามารถเร่งกำลังของคอนกรีตได้ในช่วงอายุต้นเมื่อใช้ แคลเซียมคลอไรด์ 3% โดยน้ำหนัก แต่ในช่วงอายุปลาย คอนกรีตที่ใช้ $CaCl_2$ มีกำลังอัดไม่แตกต่างกันจากคอนกรีตที่ไม่ใช้ $CaCl_2$ มากนัก

ต่อมา สุทธินันท์ แอเดียว (2553) ได้เสนอแนวทางในการนำส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุประสานทดแทนปูนซีเมนต์ โดยพบว่าอัตราส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 40 ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์สูงสุดที่อายุ 90 วัน เท่ากับ 153 กก/ซม^2 จากนั้นศึกษาวัสดุประสานจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นวัสดุประสานของคอนกรีต โดยมีปูนซีเมนต์เป็นสารเร่งกำลังซึ่งแทนที่วัสดุประสานอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณวัสดุประสานเท่ากับ 450 กก/ม^3 และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 ในการหล่อคอนกรีต พบว่าคอนกรีตมีค่ากำลังสูงสุด ที่อายุ 180 วัน เท่ากับ 280 กก/ซม^2

2.4 เถ้าแกลบ-เปลือกไม้

เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ (Rice Husk-Bark Ash) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ทำการเผาแกลบและเปลือกไม้ด้วยระบบการเผาแบบ Fluidized Bed โดยแกลบได้จากโรงสีข้าว ส่วนเปลือกไม้ได้จากต้นยูคาลิปตัสที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ อัตราส่วนที่ใช้ในการเผาแกลบต่อเปลือกไม้เท่ากับร้อยละ 65 ต่อ 35 โดยน้ำหนัก ทำการเผาอย่างรวดเร็วโดยควบคุมอุณหภูมิการเผาในช่วงประมาณ 800 ถึง 900 องศาเซลเซียส โรงงานที่ทำการศึกษาสามารถผลิตเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในปริมาณที่สูงถึง 300 ตันต่อวัน แต่ไม่สามารถนำเถ้าเหล่านี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ ซึ่งในแต่ละวันต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดและการนำไปทิ้ง ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทำให้ต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าของบริษัทสูงขึ้น จากปัญหาดังกล่าวทำให้มีงานวิจัยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มาใช้ในงานคอนกรีตเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและลดค่าใช้จ่ายในการจัดการเถ้าเหล่านี้ โดย Makaratat และคณะ (2004) พบว่าคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่ไม่มีการบดละเอียด ไม่เหมาะที่นำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานเนื่องจากเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ไม่บดมีความพรุนสูง และมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ แต่เมื่อทำการบดจนอนุภาคมีขนาดเล็กลงเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักพบว่าสามารถเพิ่มกำลังอัดและลดการขยายตัวของคอนกรีตได้

2.5 เถ้าปาล์มน้ำมัน

ในการผลิตน้ำมันปาล์ม เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจะเหลือกากปาล์มแยกเป็นทะลายปาล์ม เปลือกปาล์ม และกะลาปาล์ม ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ โดยก่อนนำกากปาล์มน้ำมันไปใช้เป็นเชื้อเพลิงจะนำทะลายปาล์มและเปลือกปาล์มน้ำมันไปผ่านกระบวนการตีให้เป็นเส้นใยเพื่อให้เผาไหม้ดีขึ้น จากนั้นจึงนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาประมาณ 700-1000 องศาเซลเซียส ข้อมูลจากสำนักงานกิจการเกษตร พบว่าในปี พ.ศ. 2552-2553 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มประมาณ 4,000,000 ไร่ และมีผลผลิตประมาณ 8,000,000 ตันต่อปี หลังจากการเผากากปาล์มจะได้เถ้าปาล์มน้ำมันประมาณ 4 แสนตัน/ปี ซึ่งเป็นปัญหาในการกำจัดทิ้ง และก่อปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมข้างเคียง

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีต

Limbachiya และคณะ (2000) ได้ศึกษาคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยคอนกรีตสำเร็จรูปที่ไม่ผ่านมาตรฐานแทนที่มวลรวมจากธรรมชาติร้อยละ 30, 50 และ 100 พบว่าการใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยคอนกรีตแทนที่มวลรวมจากธรรมชาติไม่เกินร้อยละ 30 ไม่มีผลต่อกำลังอัด

สูงสุด (Ceiling Strength) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่มวลรวมหยาบจากการย่อยคอนกรีตส่งผลให้ค่าการยืดและหดตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยคอนกรีตไม่สามารถช่วยลดค่าการแทรกซึมของคลอไรด์ แต่ช่วยลดการเกิดความเสียหายจากสภาวะแข็งตัวและละลายน้ำ (Freeze-Thaw) สลับกันได้ดี

Ajdukiewicz และ Kliszczewicz (2002) นำเศษคอนกรีตจากสถานที่รื้อถอนจริงที่แตกต่างกัน 6 แห่ง ที่มีกำลังอัดอยู่ในช่วง 35-70 เมกกะปาสคาล มาย่อยและใช้เป็นมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบสำหรับทำคอนกรีตกำลังสูง พบว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตที่อายุ 28 วัน มีกำลังอัดไม่ต่ำกว่า 80 เมกกะปาสคาล ซึ่งสูงกว่ากำลังของคอนกรีตเดิมที่นำมาใช้ย่อยเป็นมวลรวม สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของคอนกรีตพบว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกับคอนกรีตปกติ โดยมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำกว่าเล็กน้อย ส่วนกำลังดึงของคอนกรีตมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 10 ขณะที่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมมีค่าลดลงไม่เกินร้อยละ 8 เมื่อใช้มวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตร่วมกับทรายจากธรรมชาติ และลดลงร้อยละ 20 เมื่อใช้ทั้งมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตแทนที่มวลรวมจากธรรมชาติทั้งหมด อย่างไรก็ตามคุณสมบัติดังกล่าวที่ลดลงสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยใช้สารผสมเพิ่มในส่วนผสมของคอนกรีต เช่น ซิลิกาฟูม หรือ สารลดปริมาณน้ำ

Gomez-Soberon (2002) ได้ศึกษาความพรุนของคอนกรีตซึ่งใช้มวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตเป็นส่วนผสม ด้วยวิธี Mercury Intrusion Porosimetry (MIP) พบว่าคอนกรีตดังกล่าวมีความพรุนและโพรงอากาศมากขึ้นเมื่อใช้มวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตในปริมาณที่สูงขึ้น โดยความพรุนและโพรงอากาศดังกล่าว ขึ้นอยู่กับอายุของคอนกรีตและปริมาณของมอร์ต้าร์ที่ยึดเกาะที่ผิวของมวลรวม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความพรุนและโพรงอากาศในคอนกรีต ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น กำลังอัด กำลังดึง และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ตลอดจนความทนทานของคอนกรีต

Ryu (2002) เสนอวิธีการปรับปรุงกำลังและค่าการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีต โดยใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ของวัสดุประสาน ซึ่งพบว่าชั้นความหนาของ Interficial Transition Zones ลดลงร้อยละ 8 ขณะที่การแทรกซึมของสารละลายคลอไรด์ลดลงร้อยละ 17 ส่วนกำลังอัดและกำลังดึงของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 18 และ 21 เมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตโดยใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนช่วยเพิ่มความต้านทานการแทรกซึมจากสารเคมีที่เป็นสาเหตุสำคัญในการทำลายคุณภาพของคอนกรีต

รักษ์ บูรณสิงห์ (2547) ได้ศึกษาการนำเถ้าถ่านหินแม่เมาะและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตแทนที่มวลรวมจากธรรมชาติ พบว่าการใช้เถ้าถ่านหินทั้งก่อนและหลังผ่านการบดละเอียดช่วยเพิ่มค่าการยุบตัวของคอนกรีตและยืดระยะเวลาการสูญเสียค่ายุบตัวออกไป สามารถใช้เถ้าถ่านหินบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ได้สูงถึงร้อยละ 50 โดยการแทนที่ร้อยละ 20 และ 35 ให้กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุมที่อายุ 7 วันขึ้นไป ส่วนการใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียด พบว่าคอนกรีตสดมีค่าการยุบตัวลดลงและสูญเสียค่าการยุบตัวอย่างรวดเร็ว การแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 และ 35 ให้กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุมที่อายุ 7 วัน นอกจากนี้การใช้ทั้งเถ้าถ่านหินและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนมีผลต่อกำลังดึงแบบผ่าซีกและโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตไม่มากนัก โดยกำลังดึงและโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้มวลรวมละเอียดที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตแทนที่ทรายแม่น้ำในปริมาณที่สูงขึ้น

ปกป้อง รัตนชู (2551) ได้ศึกษาการนำเถ้าถ่านหิน และเถ้าชานอ้อยมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตแทนที่หินปูนย่อยทั้งหมด พบว่าเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินบดละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน สามารถช่วยให้คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตพัฒนากำลังอัดให้สูงขึ้นได้ถึงร้อยละ 98 ของคอนกรีตควบคุมที่อายุ 90 วัน นอกจากนี้คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตยังสามารถพัฒนากำลังอัดได้สูงกว่าร้อยละ 90 ของกำลังอัดของคอนกรีตควบคุม เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าถ่านหินไม่เกินร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานที่อายุ 90 วัน ในกรณีที่ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ทำให้ได้กำลังอัดสูงกว่าร้อยละ 90 ของกำลังอัดคอนกรีตควบคุม โดยสามารถพัฒนากำลังอัดได้ถึงร้อยละ 97 ของกำลังอัดคอนกรีตควบคุม ที่อายุ 90 วัน

สุพัตร์ ขำคล้าย (2552) ได้ศึกษาเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดในการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า พบว่าการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดมีผลต่อการเพิ่มคุณสมบัติด้านกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตไม่มากนัก และมีค่ากำลังอัดต่ำกว่าร้อยละ 7 ที่อายุ 180 วัน แต่เมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานสามารถพัฒนาค่ากำลังอัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นได้ และช่วยทำให้อัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตลดลงได้ทั้งที่อายุ 28 และ 90 วัน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 17 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 247110
เลขเรียกหนังสือ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และวัสดุปอซโซลาน เห็นได้ชัดว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์กับวัสดุปอซโซลานสามารถให้กำลังอัดของคอนกรีตได้ โดยไม่มีปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม งานวิจัยนี้จึงนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับวัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุประสาน และใช้มวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตมาผลิตคอนกรีตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยวัสดุเหล่านี้เป็นของเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรม ทั้งยังเป็นการผลักดันให้มีการใช้วัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ในงานคอนกรีตอีกทางหนึ่งด้วย

2.7 การซึมของน้ำผ่านคอนกรีต

Khatri และ Sirivivatnanon (1997) ทำการศึกษาวิธีการทดสอบหาค่าอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต โดยทดสอบคอนกรีตที่มีกำลังอัดอยู่ในช่วง 35-50 เมกกะปาสคาล ที่อายุ 28 วัน วิธีที่ใช้ทดสอบมี 2 วิธี คือ วิธีการไหลคงที่ (Constant Flow) และวิธีการวัดระยะการซึม (Penetration Method) ผลการศึกษาพบว่า วิธีการไหลแบบคงที่เหมาะสำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำกว่า 35 เมกะปาสคาล ที่อายุ 28 วัน เพราะอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตสูง สำหรับวิธีการวัดระยะการซึมเหมาะสำหรับคอนกรีตที่มีกำลังสูงมากกว่า 35 เมกะปาสคาล ที่อายุ 28 วัน เพราะคอนกรีตมีอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตต่ำ

Zongjin และ Chaung-Kong (2000) ทำการศึกษาอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่ โดยใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (Slang) เถ้าถ่านหิน (Fly Ash) และซิลิกาฟูม (Silica Fume) มาแทนที่ปูนซีเมนต์ ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตดังต่อไปนี้ ปูนซีเมนต์ต่อตะกรันเตาถลุงเหล็ก เท่ากับ 50:50 โดยน้ำหนัก ปูนซีเมนต์ต่อตะกรันเตาถลุงเหล็กต่อเถ้าถ่านหิน เท่ากับ 50:25:25 โดยน้ำหนัก และปูนซีเมนต์ต่อตะกรันเตาถลุงเหล็กต่อซิลิกาฟูม เท่ากับ 50:40:10 โดยน้ำหนัก คอนกรีตมีกำลังอัดอยู่ในช่วง 60-72 เมกกะปาสคาล ที่อายุ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่าการใช้อัตราส่วนผสมของตะกรันเตาถลุงเหล็กกับเถ้าถ่านหินทำให้อัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตลดลงและมีค่า เท่ากับ 7.27×10^{-13} เมตร/วินาที หรือคิดเป็น 0.11 เท่าของคอนกรีตธรรมดาที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม

ดิลก คูรัตนเวช และคณะ (2545) ทำการศึกษาผลกระทบของเถ้าถ่านหิน 5 แห่งการผลิตที่มีต่อค่าอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต การแทนที่เถ้าถ่านหินมีความละเอียด 2 ระดับคือ เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดได้จากโรงงานโดยตรง และเถ้าถ่านหินบดละเอียดจนมีอนุภาคค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก นำเถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ผลการศึกษาพบว่าเถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดจากโรงงานโดยตรงสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และมีค่าอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุมที่อายุ 90 วัน สำหรับเถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดของวัสดุค้างบน

ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้สูงถึงร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และมีค่าอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุมที่อายุ 28 วัน

Chusilp และคณะ (2009) ทำการศึกษาคอนกรีตที่ใช้เถ้าชานอ้อยมาแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน โดยวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังอัดและอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต ทำการปรับปรุงความละเอียดของเถ้าชานอ้อยให้มีอนุภาคค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตของคอนกรีตให้มีปริมาณวัสดุประสานเท่ากับ 350 กก/ม^3 มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ผลการศึกษาพบว่าที่อายุ 28 วัน การแทนที่เถ้าชานอ้อยอัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสานให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้นและส่งผลให้อัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตลดลง โดยเฉพาะการแทนที่เถ้าชานอ้อยอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 113 ของคอนกรีตควบคุม

2.8 การแทรกซึมของคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีต

Bai และคณะ (2003) ได้ทดลองหล่อคอนกรีต ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์, เถ้าถ่านหิน และดินขาวเผา (Metakaolin) เป็นวัสดุประสาน เพื่อศึกษาการแทรกซึมคลอไรด์ และกำลังอัดของคอนกรีตที่แช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์เป็นเวลา 18 เดือน พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 30 ทำให้คลอไรด์แทรกซึมไปในคอนกรีตลดลง ซึ่งเห็นผลได้ชัดเจนขึ้นเมื่อระยะเวลาการแช่น้ำทะเลสังเคราะห์นานขึ้น

Thomas และ Matthews (2004) ได้ทำการเก็บข้อมูลคอนกรีตที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมทะเลเป็นเวลา 10 ปี คอนกรีตดังกล่าวแช่น้ำทะเลอยู่ที่ Building Research Establishment (BRE) บริเวณปากแม่น้ำ Thames Estuary เมือง Shoe Buryness ประเทศอังกฤษ Thomas รายงานว่า คอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินช่วยป้องกัน ปริมาณคลอไรด์ที่พยายามซึมเข้าในคอนกรีตได้ดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าถ่านหิน และการบ่มคอนกรีตให้นานขึ้นมีผลต่อการซึมของคลอไรด์เพียงเล็กน้อยเมื่อคอนกรีตนั้นแช่อยู่ในน้ำทะเลเป็นเวลานาน ขณะที่ผลกระทบของการเพิ่มกำลังอัดที่มีต่อการต้านทานคลอไรด์ มีอิทธิพลน้อยกว่าการเพิ่มปริมาณเถ้าถ่านหินในส่วนผสม

ปริญญา จินดาประเสริฐ และอุกฤษฏ์ โข่ศรี (2548) ได้หล่อคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบในปริมาณร้อยละ 40 ถึง 80 ทำการทดสอบความสามารถในการต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ ตามมาตรฐาน ASTM C 1202 พบว่า คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบสามารถต้านทานการแทรกซึม

ของคลอไรด์ได้ดีกว่าคอนกรีตควบคุม การเพิ่มปริมาณเถ้าลอยและเถ้าแกลบทำให้ความสามารถในการต้านทานคลอไรด์ดีขึ้น ส่วนคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบในอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 28 วัน ให้กำลังอัดที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม และที่อายุ 90 วัน กำลังอัดเพิ่มสูงขึ้นกว่าคอนกรีตควบคุม ทั้งนี้เนื่องจาก ปฏิกิริยาของวัสดุปอซโซลานทั้งสอง

อรรคเดช ฤกษ์พิบูลย์ และคณะ (2551) ทำการศึกษาความทนทานของคอนกรีตที่ผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 10-50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน โดยนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เพื่อทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์ พบว่าเถ้าชานอ้อยบดละเอียดสามารถลดระยะการแทรกซึมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ได้ โดยการแทนที่เถ้าชานอ้อยบดละเอียดในปริมาณที่มากขึ้นช่วยให้ระยะการแทรกซึมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์น้อยลง

สรภพ ก้านบัวแก้ว และคณะ (2552) ได้ศึกษาผลกระทบของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ และเถ้าปาล์มน้ำมันต่อกำลังอัดและการแทรกซึมของคลอไรด์ โดยการบดเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ และเถ้าปาล์มน้ำมัน ให้มีความละเอียดค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ระหว่างร้อยละ 15-20 และน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก นำเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ และเถ้าปาล์มน้ำมัน แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน พบว่าคอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นและสามารถลดการแทรกซึมของคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีตได้ นอกจากนี้การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ความละเอียดปานกลาง (ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ระหว่างร้อยละ 15-20) ในอัตราร้อยละ 10 และความละเอียดมาก (ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 5) ในอัตราร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ให้กำลังอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม และมีการแทรกซึมของคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมที่อายุ 90 และ 360 วัน ส่วนคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันที่มีความละเอียดมากในอัตราร้อยละ 30 ให้กำลังอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม และมีการแทรกซึมคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมที่อายุ 90 วัน นอกจากนี้คอนกรีตที่มีการแทนที่เถ้าแกลบ-เปลือกไม้หรือเถ้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นพบว่าการแทรกซึมคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีตมีแนวโน้มลดต่ำลง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาเห็นได้ชัดว่าการใช้มวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตแทนที่มวลรวมจากธรรมชาติในส่วนผสมคอนกรีต ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วตลอดจนความทนทานของคอนกรีต ซึ่งผลกระทบดังกล่าวเป็นผลมาจากลักษณะทางกายภาพของมวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำมวลรวมเหล่านี้มาผสมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์และวัสดุปอซโซลาน ได้แก่ เถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียด และเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียด เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านกำลังอัดและความทนทานของคอนกรีต