บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงวัสดุปอซโซลาน, ปฏิกิริยาปอซโซลาน, เถ้าปาล์มน้ำมัน รวมถึงงานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีต

วัสดุปอซโซลาน
ปฏิกิริยาปอซโซลาน
เถ้าปาล์มน้ำมัน
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัสดุปอซโซลาน

วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) ตามคำจำกัดความของ ASTM C 618 หมายถึง วัสดุที่ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกา (Siliceous) หรือ ซิลิกาและอลูมินา (Siliceous and Aluminous) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปแล้ววัสดุปอซโซลานมีคุณสมบัติของวัสดุประสานน้อยมากหรือไม่มีเลย แต่เมื่อมีความละเอียดที่เหมาะสมและมีความชื้นที่เพียงพอจะสามารถทำปฏิกิริยากับด่างหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$) ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสานได้ดีคล้ายกับปูนซีเมนต์ เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ว่าปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) โดยทั่วไปวัสดุปอซโซลานที่มีอยู่ในปัจจุบันแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ วัสดุปอซโซลานธรรมชาติ (Natural Pozzolan) ซึ่งเกิดจากกระบวนการตามธรรมชาติ เช่น เถ้าภูเขาไฟ และดินขาว (Metakaolin) เป็นต้น ส่วนอีกประเภทหนึ่ง คือ วัสดุปอซโซลานสังเคราะห์ (Artificial Pozzolan) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรม เช่น ซิลิกาฟูม เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบ และตะกรันเตาถลุงเหล็ก เป็นต้น

ปัจจุบันวัสดุปอซโซลานนิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีตในรูปของการแทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์ เนื่องจากวัสดุปอซโซลานช่วยปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตให้ดีขึ้นทั้งในด้านการรับกำลังอัด และสามารถลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีต ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลดลง เนื่องจากวัสดุปอซโซลานมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ วัสดุปอซโซลานแต่ละชนิดอาจส่งผลดีต่อคอนกรีตแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัว โดยองค์ประกอบทางแร่ธาตุที่อยู่ในรูปไม่เป็นผลึกและความละเอียดของวัสดุปอซโซลาน คือ ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี

ปฏิกิริยาปอซโซลาน

เมื่อปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) และมีผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาที่สำคัญ คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO{\cdot}2SiO_2{\cdot}3H_2O$ หรือ C-S-H), แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ($3CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}6H_2O$ หรือ C-A-H) ดังแสดงในสมการที่ (2.1) ถึง (2.3)

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

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

$$3CaO\cdot Al_2O_3 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 6H_2O \quad (2.3)$$

ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายหลังจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่เกิดจากสมการที่ (2.1) และ (2.2) เป็นสารตั้งต้นทำปฏิกิริยาร่วมกับซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอลูมินาไตรออกไซด์ (Al_2O_3) ในวัสดุปอซโซลาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาปอซโซลาน คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมิเนียมไฮเดรต (C-A-H) ดังแสดงในสมการที่ (2.4) และ (2.5)

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \longrightarrow xCaO\cdot ySiO_2\cdot zH_2O \quad (2.4)$$

$$Ca(OH)_2 + Al_2O_3 + H_2O \longrightarrow xCaO\cdot yAl_2O_3\cdot zH_2O \quad (2.5)$$

ค่า x,y และ z ในสมการที่ (2.4) และ (2.5) เป็นค่าที่แปรไปตามชนิดของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (C-A-H) ซึ่งทั้ง C-S-H และ C-A-H ที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานนี้ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น และลดช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ลง ทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นขึ้น โดยปฏิกิริยาปอซโซลานนี้จะเริ่มเกิดขึ้นเมื่ออายุประมาณ 7 วัน และทำปฏิกิริยาต่อไปเรื่อยๆ แม้ว่าคอนกรีตมีอายุมากกว่า 3 ปีครึ่งก็ตาม

เถ้าปาล์มน้ำมัน

เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม ที่ใช้เส้นใยของผลปาล์มน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า มีอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ประมาณ 700-800^{0}C เถ้าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นมีการนำมาใช้ประโยชน์น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ส่วนใหญ่ต้องนำไปทิ้ง ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการกำจัดทิ้งตามมา และเป็นการเสียพื้นที่ในการทิ้งโดยสูญเปล่า นอกจากนั้นยังทำให้เกิดมลภาวะเนื่องจากการฟุ้งกระจายของเถ้าปาล์มน้ำมันอีกด้วย รูปที่ 2.1 และ 2.2 แสดงบริเวณที่กองผลปาล์มน้ำมันก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และบริเวณที่ทิ้งเถ้าปาล์มน้ำมัน ซึ่งต้องมีการฉีดน้ำเพื่อไม่ให้เกิดการฟุ้งกระจาย

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

รูปที่ 2.1 บริเวณที่กองผลปาล์มน้ำมันก่อนเข้ากระบวนการผลิต

รูปที่ 2.2 บริเวณที่ทิ้งเถ้าปาล์มน้ำมัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์เถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีตเริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1990 โดย Tay ได้ศึกษาการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 10 ถึง 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสานเพื่อทำคอนกรีต พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานต่ำ และคอนกรีตที่แทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันมากกว่าร้อยละ 10 มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสม ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าปาล์มน้ำมันที่นำมาใช้มีอนุภาคขนาดใหญ่ นอกจากนี้คอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันยังมีความหนาแน่นน้อยกว่าและการดูดซึมน้ำมากกว่าคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสมด้วย

ในปี ค.ศ. 1996 Hussin และ Awal นักวิจัยชาวมาเลเซียได้ศึกษาการนำ เถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน โดยบดเถ้าปาล์มน้ำมันให้มีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ และแทนที่ในอัตราร้อยละ 10 ถึง 60 พบว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันร้อยละ 30 ให้กำลังอัดสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการแทนที่อื่นๆ และกำลังอัดที่ช่วงอายุก่อน 28 วันมีค่าต่ำ แต่หลังจากนั้นกำลังอัดมีการพัฒนาสูงกว่าคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสมได้ นอกจากนี้คอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันมีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายกรดไฮโดคลอริกได้ดีกว่าคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ต่อมาในปี ค.ศ. 1999 Awal และ Hussin ยังได้ศึกษาคอนกรีตที่แช่ในน้ำทะเลโดยใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตรา ร้อยละ 30 พบว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันมีการพัฒนากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว แม้ว่าแช่ในน้ำทะเลเป็นเวลา 2 ปี

และจากงานวิจัยของ Ishida และคณะ ได้ศึกษาเกี่ยวกับการหดตัวของคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสมในคอนกรีต โดยบ่มแท่งคอนกรีตในน้ำเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นบ่มในอุณหภูมิห้องจนถึงอายุ 91 วัน พบว่าแท่งคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันร้อยละ 30 มีค่าการหดตัวเท่ากับ $430x10^{-6}$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแท่งคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวที่มีค่าการหดตัวเท่ากับ $448x10^{-6}$

สำหรับในประเทศไทย จักรพล กลั่นมั่นคง และคณะ ได้ทำการศึกษาศักยภาพของ เถ้าปาล์มน้ำมันในการใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบทางเคมีหลัก คือ SiO_2 มากกว่าร้อยละ 70 ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุปอซโซลาน และมีศักยภาพเพียงพอสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้หากมีความละเอียดสูงและไม่เป็นผลึก เช่นเดียวกับการศึกษาของ สุรพันธ์ สุคันธปรีย์ และคณะ พบว่าดัชนีกำลังอัดของเถ้าปาล์มน้ำมันที่บดละเอียดมากมีค่าสูงกว่าร้อยละ 75 ที่อายุ 7 และ 28 วันตามลำดับ และกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดมากในอัตราร้อยละ 30 ยังมีค่าสูงกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐานที่อายุ 28 วันขึ้นไป

ในปี พ.ศ. 2546 วีรชาติ ตั้งจิรภัทร ได้ทำการศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ผสม เถ้าปาล์มน้ำมันและการขยายตัวของแท่งมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน พบว่าการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดมากหรือมีปริมาณอนุภาคค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 5 แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 ในอัตราไม่เกินร้อยละ 20 ถือเป็นมอร์ต้าร์ที่เหมาะสม เนื่องจากให้กำลังอัดระดับเดียวกับมอร์ต้าร์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ทั้งที่บ่มในน้ำประปาและที่แช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต นอกจากนี้ยังสามารถลดการขยายตัวเนื่องจากซัลเฟตได้ดีกว่าแท่งมอร์ต้าร์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ด้วย

นอกจากนี้ วันชัย และคณะ ยังได้ศึกษาการนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้ในงานคอนกรีตกำลังสูง พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันที่บดละเอียดสามารถนำมาใช้ในการแทนที่ปูนซีเมนต์ในการ ทำคอนกรีตกำลังสูงได้ โดยสามารถแทนที่ได้สูงถึงร้อยละ 30 และคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน ร้อยละ 20 ยังมีค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูมร้อยละ 5 ด้วย โดยมีกำลังอัดสูงถึง 88-91 เมกาปาสกาลเมื่อใช้เถ้าปาล์มน้ำมันที่มีขนาด 10.1 ไมโครเมตร แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10-30

จากงานวิจัยข้างต้นเห็นได้ว่าการศึกษาการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีตส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเถ้าปาล์มน้ำมันในต่างประเทศ และเป็นการศึกษาเริ่มต้นเท่านั้น โดยผลการวิจัยแสดงให้

เห็นถึงศักยภาพของเถ้าปาล์มน้ำมันว่าสามารถนำมาใช้ในงานคอนกรีตได้ หากมีการปรับปรุงคุณภาพโดยการเพิ่มความละเอียดเสียก่อน แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาถึงผลกระทบของความละเอียดและปริมาณการแทนที่ของเถ้าปาล์มน้ำมันต่อคุณสมบัติในด้านการรับกำลังอัด รวมถึงการต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟตยังไม่มีการศึกษาหรือมีน้อยมาก โดยเฉพาะในประเทศไทยจึงเป็นแนวคิดของการทำวิจัยครั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีตให้เป็นที่รู้จักมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี