

ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด

โดย

ศาสตราจารย์ ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (blast-furnace slag) คือผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่โลหะซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกาและอะลูมิเนียมซิลิกาของแคลเซียมและอื่นๆ ซึ่งเกิดขึ้นในขณะที่หลอมละลายพร้อมกับเหล็กในเตาถลุงเหล็ก นอกจากนี้ยังให้คำจำกัดความของเม็ดตะกรันเตาถลุงเหล็ก (granulated blast-furnace slag) หมายถึงเม็ดวัสดุที่ไม่เป็นผลึกซึ่งได้จากการทำตะกรันที่หลอมเหลวในเตาถลุงเหล็กให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วโดยการจุ่มลงในน้ำหรือใช้น้ำฉีดเพื่อให้ตะกรันเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว [1]

ตะกรันเตาถลุงเหล็กนอกจากจะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์แล้ว ยังใช้เป็นวัสดุประสานในส่วนผสมร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาวอิมตัว (hydrated lime) ยิปซัม หรือ แอนไฮไดรต์ (anhydrite) ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดสามารถใช้ในรูปของปูนซีเมนต์ผสมหรือใช้เป็นส่วนผสมแยกต่างหากในการผสมคอนกรีต ซึ่งการใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดแยกผสมต่างหากในการผสมคอนกรีตมีข้อดี 2 ประการคือ 1. สามารถบดตะกรันเตาถลุงเหล็กให้ละเอียดจนถึงค่าที่ต้องการ และ 2. สามารถปรับปริมาณของตะกรันเตาถลุงเหล็กให้เหมาะสมกับงานแต่ละงานได้

เนื่องจากในปัจจุบันมีการผลิตตะกรันเตาถลุงเหล็กในประเทศไทย ดังนั้นจึงขอให้รายละเอียดเกี่ยวกับตะกรันเตาถลุงเหล็กเพื่อเป็นวัสดุอีกทางเลือกหนึ่งในส่วนผสมของคอนกรีต

กระบวนการผลิตตะกรันเตาถลุงเหล็ก

ในกระบวนการถลุงเหล็ก โรงงานจะใส่สินแร่เหล็กเข้าในเตาถลุงรวมทั้งใส่สารที่เป็นฟลักซ์ (flux) ซึ่งได้แก่ หินปูนและหินโคลโลไมต์ เพื่อลดอุณหภูมิของจุดหลอมเหลวลงเพื่อประหยัดพลังงาน การเผาจะใช้ถ่านโค้ก (ถ่านโค้ก คือถ่านหินที่เผาจนหมดควัน) เป็นเชื้อเพลิง หลังจากเผาจนอุณหภูมิสูงประมาณ 1500 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ 2 อย่างเกิดขึ้นในเตาเผาพร้อมกัน คือเหล็กที่หลอมจนเหลวซึ่งตกอยู่ก้นเตาและตะกรันเหลวซึ่งลอยอยู่บนผิวเหล็กเหลว การทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ช่วยป้องกันการเกิดผลึกในตะกรันเตาถลุงเหล็ก และทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเป็นเม็ดที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มม. จึงเรียกว่าเม็ดตะกรันเตาถลุงเหล็ก ในทางตรงกันข้ามถ้าปล่อยให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กที่ออกจากเตาเผาเย็นตัวลงอย่างช้าๆ จะทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กอยู่ในรูปที่เป็นผลึกเป็นส่วนใหญ่ และไม่มีคุณสมบัติทางวัสดุประสาน [2]

กระบวนการทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเย็นตัวอย่างรวดเร็วเพื่อไม่ให้เป็นผลึก ทำได้โดยการฉีดน้ำที่มีความเร็วสูงไปกระทบกับตะกรันเตาถลุงเหล็กเหลวที่ยังร้อนอยู่ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อตะกรันเตาถลุงเหล็กประมาณ 10:1 โดยมวล ซึ่งทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเป็นเม็ดและอยู่ในรูปไม่เป็นผลึกสูงมาก ภายหลังจากได้เม็ดตะกรันเตาถลุงเหล็กจึงทำให้แห้งและบดให้ละเอียดโดยใช้วิธีการเดียวกับการบดเม็ดปูนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ในช่วงก่อนและระหว่างการบดเม็ดตะกรันเตาถลุงเหล็กจะนำแม่เหล็กมาดูดแร่เหล็กที่ยังติดมาหรือตกค้างอยู่ออกก่อนเพื่อนำแร่เหล็กกลับไปใช้ใหม่ ตะกรันเตาถลุงเหล็กจะบดให้ละเอียดกว่าปูนซีเมนต์เพราะการทำปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้นตามความละเอียดของตะกรันเตาถลุงเหล็กที่เพิ่มขึ้น

องค์ประกอบทางเคมี

ตะกรันเตาถลุงเหล็กประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกาและอลูมินาเป็นหลักซึ่งปนมากับสินแร่เหล็กและยังมีออกไซด์ของแคลเซียมและแมกนีเซียมซึ่งมาจากหินปูนและหินโคลโลไมต์ องค์ประกอบหลักนี้รวมกันแล้วมีมากกว่าร้อยละ 95 นอกจากนี้ยังมีออกไซด์อื่นๆ ที่ติดมา

เช่น SO_3 , Fe_2O_3 และ MnO อยู่เล็กน้อย ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดที่ผลิตในอเมริกาและแคนาดาใน ค.ศ. 1988 [2] แม้ว่าองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดในตารางที่ 1 จะแตกต่างกันมาก แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะแต่ละโรงงานจะพบว่ามีความแตกต่างกันไม่มาก การที่ตะกรันเตาถลุงเหล็กมีออกไซด์ของแคลเซียมค่อนข้างสูง (มากกว่าร้อยละ 30 ขึ้นไป) จึงทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเป็นวัสดุประสานได้ด้วยตัวเองเมื่อผสมกับน้ำ

ข้อกำหนดสำหรับตะกรันเตาถลุงเหล็ก

ASTM C989 [3] ได้กำหนดตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ คือ ชั้นคุณภาพ 80, 100, และ 120 ซึ่งแต่ละชั้นคุณภาพจะขึ้นอยู่กับค่าดัชนีปฏิกิริยาของตะกรัน (slag activity index) ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดที่มีชั้นคุณภาพสูงจะค่าดัชนีปฏิกิริยาของตะกรันสูง โดยค่าดัชนีปฏิกิริยาของตะกรันหาได้จาก

$$\text{ดัชนีปฏิกิริยาของตะกรัน (ร้อยละ)} = [SP/P] \times 100$$

เมื่อ SP = ค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่มีตะกรันเตาถลุงเหล็กผสมอยู่ร้อยละ 50

P = ค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐานที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน

ข้อกำหนดที่ต้องการของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดของแต่ละชั้นคุณภาพที่แบ่งตาม ASTM C989 [3] ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 นอกจากค่าดัชนีปฏิกิริยาของตะกรันแล้ว มาตรฐาน ASTM ยังได้กำหนดคุณสมบัติอื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดต้องมีปริมาณวัสดุที่ค้างบนตะแกรงขนาดช่องเปิด 45 ไมโครเมตร (No. 325) ไม่เกินร้อยละ 20 ปริมาณฟองอากาศในมอร์ต้าร์ที่ใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดเป็นวัสดุประสานล้วนไม่เกินร้อยละ 12 ปริมาณของกำมะถันจากซัลไฟด์ (sulfide sulfur) ไม่เกินร้อยละ 2.5 และ ปริมาณของซัลเฟต (SO_3) ไม่เกินร้อยละ 4.0

ในกรณีที่น่าตะกรันเตาถลุงเหล็กมาใช้เป็นส่วนผสมหนึ่งของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ASTM C595 [4] ได้แบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามปริมาณของตะกรันเตาถลุงเหล็กที่มีอยู่ในส่วนผสม คือ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลงด้วยตะกรัน (slag-modified portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดผสมไม่เกินร้อยละ 25 และแบ่งออกเป็น Type IS ซึ่งใช้ในงานคอนกรีตทั่วไป, Type IS(MS) สำหรับต้านทานซัลเฟตระดับปานกลาง, Type IS(A) สำหรับคอนกรีตที่มีฟองอากาศ, และ Type IS(MH) สำหรับคอนกรีตความร้อนปานกลาง

2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (portland blast-furnace slag cement) ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดผสมร้อยละ 25 ถึง 70 ซึ่งยังแบ่งออกเป็น Type I(SM) ที่ใช้ในงานคอนกรีตทั่วไป, Type I(MS) สำหรับต้านทานซัลเฟตระดับปานกลาง, Type I(A) สำหรับคอนกรีตที่มีฟองอากาศ, และ Type I(MH) สำหรับคอนกรีตความร้อนปานกลาง

3. ปูนซีเมนต์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (slag cement) ปูนซีเมนต์ชนิดนี้จะมีตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดผสมเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 70 ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือใช้ร่วมกับปูนขาวเพื่อใช้ในงานก่ออิฐหรือฉาบปูน ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของตะกรันเตาถลุงเหล็กที่ผลิตในอเมริกาและแคนาดา [2]

| องค์ประกอบทางเคมี | ร้อยละโดยน้ำหนัก (%) |
|--------------------------------|----------------------|
| SiO ₂ | 32-40 |
| Al ₂ O ₃ | 7-16 |
| CaO | 32-45 |
| MgO | 5-15 |
| SO ₃ | 0.7-2.2 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.1-1.5 |
| MnO | 0.2-1.0 |

ตารางที่ 2 ดัชนีปฏิกิริยาของตะกรันและคุณสมบัติทางกายภาพที่กำหนดใน ASTM C989 [3]

| อายุและชั้นคุณภาพ | ค่าต่ำสุดของดัชนีปฏิกิริยาของตะกรัน (ร้อยละ) | |
|---|--|--------------------------|
| | ค่าเฉลี่ยของผลทดสอบ 5 ตัวอย่างติดต่อกัน | ผลทดสอบแต่ละ ตัวอย่าง |
| ดัชนีปฏิกิริยาของตะกรันที่อายุ 7 วัน | | |
| - ชั้นคุณภาพ 80 | - | - |
| - ชั้นคุณภาพ 100 | 75 | 70 |
| - ชั้นคุณภาพ 120 | 95 | 90 |
| ดัชนีปฏิกิริยาของตะกรันที่อายุ 28 วัน | | |
| - ชั้นคุณภาพ 80 | 75 | 70 |
| - ชั้นคุณภาพ 100 | 95 | 90 |
| - ชั้นคุณภาพ 120 | 115 | 110 |
| ความละเอียดของวัสดุที่ค้ำบน ตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกิน (ร้อยละ) | - | 20 |
| ปริมาณฟองอากาศของมอร์ตาร์ที่ใช้ ตะกรันเตาถลุงเหล็กเป็นวัสดุประสาน (ไม่เกินร้อยละ) | - | 12 |

การทำปฏิกิริยากับน้ำ

เมื่อผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำจะได้ผล
ลัพท์เช่นเดียวกับปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือได้ C-S-H โดยในกรณีของปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์จะได้ C-S-H มาจาก C_3S เป็นส่วนมาก ส่วนตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดจะได้
C-S-H มาจาก C_2S เป็นส่วนใหญ่ และ C-S-H ที่ได้จากตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดมีความ
หนาแน่นสูงกว่ากรณีที่ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปฏิกิริยาปอซโซลานของตะกรันเตาถลุง

เหล็กบดละเอียดจะขึ้นอยู่กับ การแตกตัวและการละลายของตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียดที่ไม่เป็นผลึก เมื่อสัมผัสกับไอออนของไฮดรอกไซด์ (OH⁻) ซึ่งได้มาจากกระบวนการไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียดจะทำปฏิกิริยาทำให้ได้สาร C-S-H ซึ่งเพิ่มความแข็งแรงให้แก่คอนกรีต นอกจากนี้ตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียดยังสามารถทำปฏิกิริยากับอัลคาไลได้อีกด้วย โดยเฉพาะในกรณีของอัลคาไลไฮดรอกไซด์พบว่าไฮเดรตของตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียดที่ได้มีความแข็งแรงสูงกว่าไฮเดรตที่ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปฏิกิริยาของตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ [2]

1. องค์ประกอบทางเคมีของตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียด
2. ความเข้มข้นของด่างอัลคาไลในระหว่างทำปฏิกิริยา
3. ปริมาณที่ไม่เป็นผลึกของตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียด
4. ความละเอียดของตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียดและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
5. อุณหภูมิในขณะที่ทำปฏิกิริยา

ปัจจัยเหล่านี้มีผลซึ่งกันและกัน จึงเกิดความยุ่งยากในการพิจารณาหาความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ดังนั้น ASTM C989 [3] จึงแนะนำให้ควรใช้ค่าดัชนีของตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียดในการทำปฏิกิริยา นอกจากนี้ส่วนผสมของคอนกรีตที่ผสมตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียดควรได้รับการทดสอบก่อนเพื่อให้แน่ใจว่าได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติและคุณภาพตามต้องการ

ผลกระทบของตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียดต่อคอนกรีตสด

โดยทั่วไปคอนกรีตที่มีตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียดจะมีความสามารถในการเทและเขย่าหรือทำให้แน่นได้ง่ายกว่าคอนกรีตธรรมดา การใช้ตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียดจะยืดระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตออกไป ในกรณีที่ใช้ตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ เวลาการก่อตัวที่ยืดออกไปจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของคอนกรีต ปริมาณตะกั่วเตาถลุงเหล็กบดละเอียด อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน และชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยทั่วไปเวลาการก่อตัวจะยืดออกไปราว ½ ถึง 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียสเมื่อ

เปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา [5] การใช้แคลเซียมคลอไรด์เพื่อเร่งการก่อตัวของคอนกรีต จะสามารถชดเชยผลกระทบของการก่อตัวที่ยืดออกไปได้ดี

การเย็นตัวของคอนกรีตขึ้นอยู่กับความละเอียดของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด กล่าวคือ ถ้าตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดมีความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะทำให้การเย็นน้ำลดลง แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าความละเอียดของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดมีค่าต่ำกว่าของปูนซีเมนต์การเย็นน้ำของคอนกรีตจะสูงขึ้น อัตราการสูญเสียค่ายุบตัวของคอนกรีตที่มีตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดในส่วนผสมของปูนซีเมนต์ร้อยละ 50 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันหรือลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด [6]

ผลกระทบของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

การบ่มคอนกรีตผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพเพราะคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตะกรันเตาถลุงเหล็กจะมีปัญหาเรื่องการสูญเสียกำลังหากหยุดบ่มหลังจากหล่อ 3 วันไปแล้ว ซึ่งจะคล้ายกับคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 2 และอัตราการสูญเสียกำลังของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน คอนกรีตที่ใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดสูงกว่าร้อยละ 30 ขึ้นไป มีแนวโน้มที่จะเสี่ยงอันตรายมากกว่าคอนกรีตธรรมดาในกรณีที่ไม่มีการบ่มที่ดี

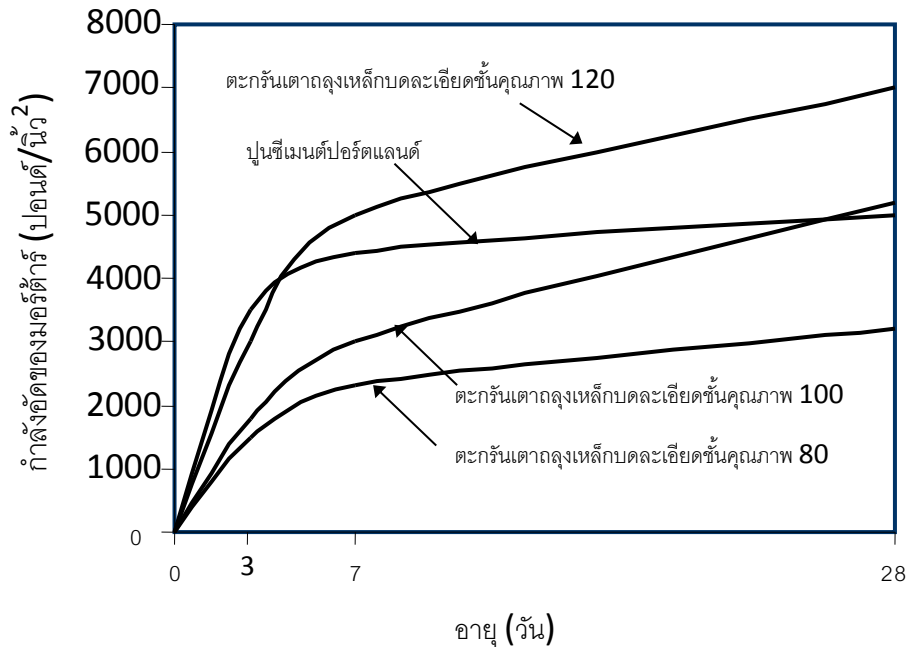
การพัฒนากำลังคอนกรีตของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดจะขึ้นอยู่กับคุณภาพ กล่าวคือการใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดชั้นคุณภาพ 120 จะทำให้กำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาเล็กน้อยในช่วงอายุ 1 ถึง 3 วัน และให้กำลังอัดสูงกว่าเมื่ออายุเกิน 7 วันไปแล้ว แต่การใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดชั้นคุณภาพ 80 และ 100 จะให้กำลังที่ต่ำกว่ากรณีที่ไม่ใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดเป็นส่วนใหญ่ [2] ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดในส่วนผสมของคอนกรีตมีผลต่อกำลังอัดอย่างมาก กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็ก

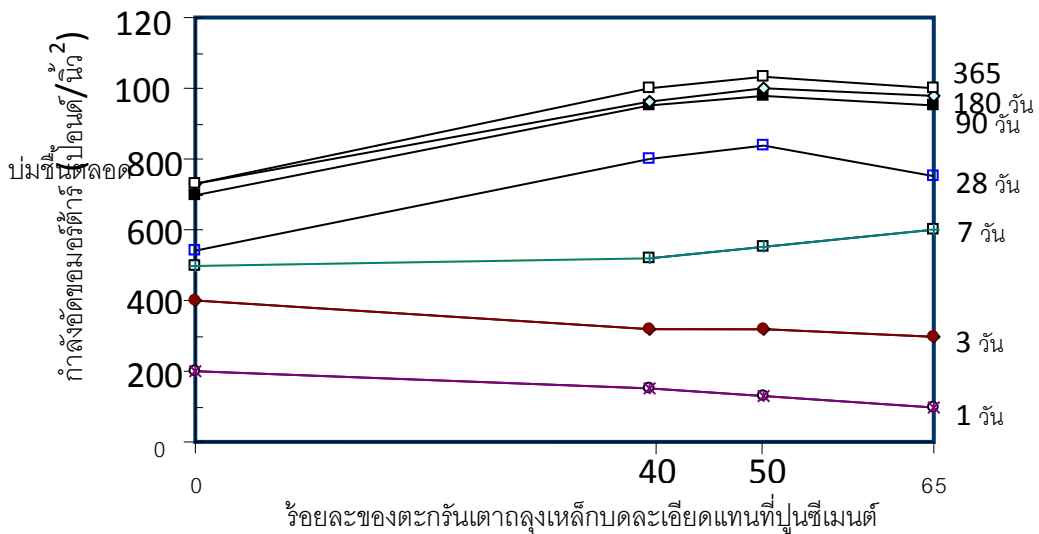
บดละเอียดที่อายุต่ำกว่า 28 วันจะลดลงเมื่อปริมาณตะกรันตกลงเหลือกับบดละเอียดเพิ่มขึ้น แต่หลังจากอายุ 28 วันการพัฒนากำลังของส่วนผสมที่มีตะกรันเตาถลุงเหลือกับบดละเอียดในปริมาณที่สูงจะพัฒนาได้ดีกว่า โดยกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมตะกรันเตาถลุงเหลือกับบดละเอียดร้อยละ 50 จะให้กำลังสูงสุด [5]

การใช้ตะกรันเตาถลุงเหลือกับบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์จะลดคุณสมบัติของคอนกรีตได้ เนื่องจากการลดปริมาณของปูนซีเมนต์ในส่วนผสม และทำให้คอนกรีตที่บ่มขึ้นและการซึมผ่านน้ำจะลดลงอย่างมากตามอายุที่เพิ่มขึ้น ยิ่งปริมาณตะกรันเตาถลุงเหลือกับบดละเอียดมากจะยิ่งลดการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตได้มากขึ้นเพราะ โครงสร้างของโพรงในซีเมนต์เพสต์ที่มีส่วนผสมของตะกรันเตาถลุงเหลือกับบดละเอียดมีแนวโน้มที่บ่มน้ำมากกว่ากรณีของซีเมนต์เพสต์ล้วน [7]

ตะกรันเตาถลุงเหลือกับบดละเอียดสามารถเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนของคลอไรด์และซัลเฟตได้ดี การใช้ตะกรันเตาถลุงเหลือกับบดละเอียดร้อยละ 50 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งมี C_3A ถึงร้อยละ 12 ให้ผลการต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟตเท่ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 (C_3A ไม่เกินร้อยละ 5) ซึ่งความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีตที่มีตะกรันเตาถลุงเหลือกับบดละเอียดเนื่องจากคอนกรีตมีการซึมผ่านน้ำต่ำ การที่ $Ca(OH)_2$ และอัลคาไลทำปฏิกิริยากับตะกรันเตาถลุงเหลือกับบดละเอียดได้เป็น C-S-H จึงเหลืออัลคาไลและ $Ca(OH)_2$ น้อยลงในการทำปฏิกิริยากับซัลเฟต การใช้ตะกรันเตาถลุงเหลือกับบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนสามารถลดการขยายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาของอัลคาไลซิลิกา แต่มักต้องใช้ตะกรันเตาถลุงเหลือกับบดละเอียดในปริมาณสูงถึงร้อยละ 40 ถึง 65 ของวัสดุประสานจึงจะสามารถลดปัญหานี้ได้ดี [7]



รูปที่ 1 กำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่มีตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดชั้นคุณภาพ 120, 100, และ 80 ตามมาตรฐาน ASTM C 989 ผสมอยู่ร้อยละ 50 เปรียบเทียบกับกำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน [2]



รูปที่ 2 ผลกระทบเนื่องจากปริมาณตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดที่แทนที่ปูนซีเมนต์ต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์ [5]

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและการต้านทานสภาวะการแข็งตัวและละลายของน้ำสลักกันของคอนกรีตที่มีตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดพบว่ามีคุณสมบัติเช่นเดียวกับคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป แต่การกึ่งและการหดตัวมีแนวโน้มว่าคอนกรีตที่มีตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดจะมีค่าสูงกว่าของคอนกรีตธรรมดา ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดมีสีจางกว่าสีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดังนั้นเมื่อหล่อเป็นคอนกรีตแล้วจึงอาจมีสีออกไปทางเขียวอ่อนได้นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางเคมีของกำมะถันจากซัลไฟด์กับส่วนผสมอื่นๆ ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [2]

การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปรับปรุงด้วยตะกรันหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก Type IS ถือว่าเป็นปูนซีเมนต์เทียบเท่ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C595 [4] ดังนั้นจึงสามารถใช้กับงานทุกประเภทที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ยกเว้นในกรณีที่ต้องการกำลังสูงในช่วงอายุต้นของคอนกรีต นอกจากนี้ยังสามารถใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดผสมกับปูนซีเมนต์ในขณะผสมคอนกรีตก็ได้ โดยปริมาณและอัตราส่วนผสมของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดขึ้นอยู่กับชนิดของงานคอนกรีตแต่ละงาน

บทส่งท้าย

รายละเอียดของเรื่องตะกรันเตาถลุงเหล็กคัดมาจากหนังสือ “ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และ คอนกรีต” พิมพ์ครั้งที่ 6 สำหรับผู้ที่สนใจรายละเอียดเพิ่มเติมของตะกรันเตาถลุงเหล็ก สามารถหาซื้อได้จากบรรณานุกรมที่ให้ไว้ข้างล่างครับ

บรรณานุกรม

1. American Concrete Institute, ACI 116R-90: Cement and Concrete Terminology, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Michigan, 2000.
2. American Concrete Institute, ACI 233 R-95: Ground Granulated Blast-Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Michigan, 2000.
3. American Society for Testing and Materials, ASTM C989-99: Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars, Annual Book of ASTM Standards, 2001, Vol. 04.02, Philadelphia, 518-522.
4. American Society for Testing and Materials, ASTM C595-00: Standard Specification for Blended Hydraulic Cements, Annual Book of ASTM Standards, 2001, Vol. 04.01, Philadelphia, 324-330.
5. Hogan, F.J., and Meusel, J.W., Evaluation for Durability and Strength Development of a Ground Granulated Blast-Furnace Slag, Cement Concrete and Aggregates, 1981, V. 3, 40-52.
6. Meusel J.W., and Rose, J.H., Production of Granulated Blast Furnace Slag at Sparrows Point, and the Workability and Strength Potential of Concrete Incorporating the Slag, Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Other Mineral by Products in Concrete, ACI Pub. SP-79, 1983, 867-890.
7. Hooton, R.D., and Emery, J.J., Sulfate Resistance of a Canadian Slag, ACI Materials Journal, 1990, V. 87, 547-555.