



การนำ เถ้าลอยลิกไนต์ มาใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง

เรียบเรียงโดย

จรรยา จันทร์สมบูรณ์

เถ้าลอย

(Fly Ash) เป็นผลผลิตจากการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้เครื่องจับฝุ่นจับอนุภาคที่ละเอียดของเถ้าลอยออกจากไอควันของการเผาไหม้ก่อนจะปล่อยออกสู่อากาศ ซึ่งในปัจจุบันการผลิตกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยเฉพาะที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง จะได้เถ้าลอยปีละกว่า 3 ล้านตัน และมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความต้องการใช้กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการขนเถ้าลอยไปทิ้งหรือนำไปกำจัดสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีแนวความคิดที่จะนำเถ้าลอยไปใช้ประโยชน์โดยเฉพาะในงานก่อสร้าง ซึ่งถือว่าการนำวัสดุที่เหลือใช้กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกครั้ง

คุณสมบัติของเถ้าลอย

โดยทั่วไปสามารถแบ่งชั้นคุณภาพของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM C 618-01 ได้เป็น 2 แบบ คือ ASTM C 618 Type F และ ASTM C 618 Type C ดังรายละเอียดในตารางที่ 1 โดยที่เถ้าลอยชั้นคุณภาพ F ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาถ่านหินประเภทแอนทราไซต์และบิทูมินัส จะมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 5 หรือเรียกว่าเถ้าลอยที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำ (Low-Calcium Fly Ash) ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นซีเมนต์อยู่น้อยหรือแทบไม่มี แต่มีคุณสมบัติวัสดุปอซโซลาน ส่วนเถ้าลอยชั้นคุณภาพ C เกิดจากการเผาถ่านหินประเภทลิกไนต์และซับบิทูมินัส จะมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์อยู่ประมาณร้อยละ 15-25 หรือเรียกว่าเถ้าลอยที่มีปริมาณแคลเซียมสูง (High-Calcium Fly Ash) ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นซีเมนต์และปอซโซลานอยู่ในตัวเอง

ตารางที่ 1 การแบ่งชั้นคุณภาพของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM C 618-01

| คุณสมบัติ | ASTM C 618 Type F | ASTM C 618 Type C |
|--|-------------------|-------------------|
| | % | % |
| Silicon dioxide(SiO_2)+Aluminium oxide(Al_2O_3) + Iron (III) oxide(Fe_2O_3) | ≥ 70 | ≥ 50 |
| Sulphur trioxide(SO_3) | 5.0 | 5.0 |
| Magnesium oxide(MgO) | ≤ 5.0 | ≤ 5.0 |
| Sodium oxide(Na_2O) | ≤ 1.5 | ≤ 1.5 |
| Moisture | 3.0 | 3.0 |
| Loss on ignition | 6.0 | 6.0 |



จากองค์ประกอบทางเคมีที่แสดงในตารางที่ 2 พบว่าเถ้าลอยมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 618 จัดเป็นสารปอซโซลานซึ่งเมื่อนำมาบดเป็นผงละเอียดผสมน้ำจะทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในอุณหภูมิปกติ มีคุณสมบัติที่เป็นตัวเชื่อมประสานที่ดี อีกทั้งตัวของเถ้าลอยมีอนุภาคที่กลมและขนาดเล็กมาก เมื่อนำมาทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่ง

โดยทั่วไปไม่เกินร้อยละ 30 พบว่าเถ้าลอยจะช่วยเสริมให้คอนกรีตรับแรงได้มากขึ้นโดยที่ตัวของเถ้าลอยจะเข้าไปแทรกในช่องว่างของเนื้อปูนซีเมนต์ทำให้เนื้อคอนกรีตแน่นขึ้น ทึบขึ้น ส่งผลให้ความชื้นและความเค็มที่จะผ่านเข้าไปในเนื้อปูนรวมถึงเนื้อเหล็กภายในได้ยากขึ้น ทำให้คอนกรีตทนการกัดกร่อน ความเค็ม รวมถึงอายุการใช้งานที่ยาวขึ้น ดังรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ กับเถ้าลอยจากแหล่งต่าง ๆ

| องค์ประกอบ | ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ,% | เถ้าลอยแหล่งแม่เมาะ ,% | เถ้าลอยแหล่งปราจีนบุรี ,% | เถ้าลอยแหล่งราชบุรี ,% |
|--|-------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|
| SiO ₂ | 19.52 | 38.73 | 45.42 | 40.28 |
| Al ₂ O ₃ | 5.36 | 26.05 | 21.06 | 45.49 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.29 | 8.17 | 5.81 | 3.33 |
| SO ₃ | 2.15 | 1.62 | 1.25 | 0.48 |
| SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ | 28.17 | 72.95 | 72.39 | 89.10 |
| CaO | 65.47 | 16.69 | 2.57 | 5.90 |
| MgO | 1.19 | 2.66 | 1.05 | 0.39 |
| K ₂ O | 0.43 | 0.98 | 2.66 | 0.06 |
| Na ₂ O | 0.03 | 0.54 | 0.10 | 0.16 |
| Free lime | 0.97 | 0.69 | 0.00 | 0.11 |
| Moisture | - | 0.05 | 0.19 | 0.19 |
| Loss on ignition | 2.75 | 0.38 | 19.91 | 4.38 |

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอย

| คุณสมบัติ | ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอย ตัวอย่างที่ 1 | ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอย ตัวอย่างที่ 2 | ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ |
|------------------------------------|--|--|----------------------|
| MgO ,% | 1.07 | 1.60 | 1.63 |
| SO ₃ ,% | 2.49 | 2.46 | 2.45 |
| Loss on ignition ,% | 1.38 | 0.53 | 0.47 |
| Soundness (Autoclave expansion) ,% | -0.03 | 0.03 | 0.03 |
| Setting time ,min | | | |
| - Initial set | 149 | 75 | 72 |
| - Final set | 209 | 154 | 150 |
| Air content, % | 5.45 | 3.89 | 3.47 |
| Compressive strength, MPa | | | |
| - 3 days | 21.62 | 22.72 | 24.93 |
| - 7 days | 27.79 | 32.61 | 30.55 |

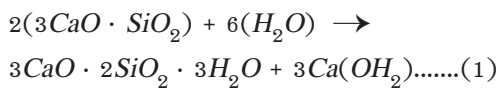


การใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุผสมทดแทนปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีต

1. เถ้าลอยจะช่วยเสริมให้คอนกรีตรับแรงได้มากขึ้นโดยใช้การเกิดปฏิกิริยา Hydration และปฏิกิริยา Pozzolanic มาอธิบายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ซึ่งมีผลต่อกำลังอัดในคอนกรีตสมรรถนะสูง

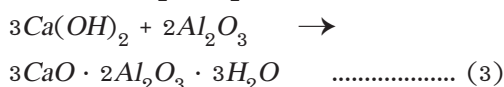
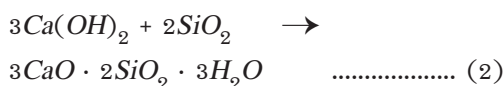
ปฏิกิริยาเคมีของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยกับน้ำ

เมื่อนำปูนซีเมนต์ธรรมดา (Ordinary portland cement) มาผสมกับน้ำ ปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำ เรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) ซึ่งสามารถแสดงสมการ ได้ดังนี้



สารแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium silicate hydrate) เป็นสารที่เพิ่มกำลังอัดคอนกรีตโดยทำหน้าที่เป็นตัวยึดเหนี่ยวคอนกรีต ก่อให้เกิดลักษณะโครงตาข่าย (Matrix densification) ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CaOH₂) จะเป็นสารที่เหลือแทรกอยู่ในช่องว่างของคอนกรีต จากสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่าปริมาณของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น

แต่เมื่อนำปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยมาผสมกับน้ำ เถ้าลอยจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยที่เถ้าลอยจะมีส่วนประกอบของแคลเซียมออกไซด์ ซิลิคอนไดออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์และอื่นๆ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชันได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต เรียกปฏิกิริยานี้ว่าปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic reaction) ส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดลงและปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเพิ่มขึ้นทำให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น ปฏิกิริยาระหว่าง Ca(OH)₂ กับเถ้าลอยจะทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก ดังสมการ (2) และ (3)



จากปฏิกิริยาเคมีจะเห็นได้ว่าซีเมนต์ธรรมดาจะมีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ส่วนซีเมนต์ที่ผสมเถ้าลอยจะมีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดลงตามระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับซีเมนต์ธรรมดาเมื่ออายุเท่ากัน แสดงว่าการผสมเถ้าลอยกับปูนซีเมนต์และน้ำ เถ้าลอยจะทำปฏิกิริยาปอซโซลานิก ส่งผลทำให้คอนกรีตที่ได้มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นตามระยะเวลาและอัตราส่วนของเถ้าลอยลิกไนต์

2. เถ้าลอยช่วยให้คอนกรีตทนทานต่อสภาพแวดล้อมของทะเล

ถ้าโครงสร้างคอนกรีตปกติต้องสัมผัสกับน้ำทะเล ละอองน้ำและไอน้ำทะเล แม้คอนกรีตจะใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ซึ่งมีคุณสมบัติทนต่อซัลเฟตได้ เนื้อคอนกรีตที่อยู่ในสภาพแวดล้อมดังกล่าว ก็ยังมีโอกาสที่มีการขยายตัวของสนิมที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมและดันเนื้อคอนกรีตให้แตกออกมาได้

โดยที่ต้นเหตุการเกิดสนิมเหล็ก มีทั้งจากเกลือซัลเฟตและเกลือคลอไรด์แต่จะมาจากเกลือคลอไรด์เป็นหลักและน้ำทะเลมีสารละลายคลอไรด์อยู่เป็นส่วนใหญ่ (สูงกว่า 90 %) เมื่อเทียบกับซัลเฟต เมื่อคลอไรด์ไอออนอิสระแทรกซึมลึกเข้าไปในเนื้อคอนกรีต จะทำให้ความเป็นด่าง(pH) ของคอนกรีตในส่วนนั้นลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อความเป็นด่างลดลงถึงระดับวิกฤต (มีค่า pH ต่ำกว่า 9.0) และมีความชื้นเพียงพอ เหล็กเสริมจะเกิดปฏิกิริยา Electrolysis เกิดเป็นสนิมเหล็ก (Fe₂O₃) สะสมเพิ่มขึ้นทำให้แรงยึดเหนี่ยว (Bonding) ระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตในส่วนนี้จะลดลง ในที่สุดโครงสร้างคอนกรีตจะแตกออกด้วยการบ่งตัวของสนิมเหล็ก และเสียความสามารถในการรับกำลังลงไปอย่างมาก

เถ้าลอยช่วยให้คอนกรีตทนทานต่อสภาพแวดล้อมของทะเลโดยผสมเถ้าลอยลิกไนต์ทดแทนปูนซีเมนต์ในคอนกรีตด้วยปริมาณที่เหมาะสม นอกจากเถ้าลอยลิกไนต์ในคอนกรีตจะช่วยจับยึดคลอไรด์ไอออนอิสระบางส่วนไว้ได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ในคอนกรีตแต่เพียงอย่างเดียวแล้ว การใช้เถ้าลอยลิกไนต์ยังช่วยให้สามารถทำงานเทคอนกรีตได้ง่ายขึ้นและใช้ปริมาณน้ำในการผสมน้อยลงด้วย นอกจากนี้ คอนกรีตที่ได้จะมีเนื้อแน่นและที่บ่มน้ำมากขึ้นตามส่วนของปริมาณน้ำที่ลดลง แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึง



การควบคุมคุณภาพของคอนกรีตประกอบด้วย เช่น ต้องใช้ระยะหุ้มเหล็กเสริมที่มากเพียงพอ และต้องระวังไม่ให้เนื้อคอนกรีตเกิดรอยแตกร้าวขึ้นตั้งแต่ระยะเริ่มแรกที่หล่อคอนกรีตเป็นต้น เมื่อคอนกรีตมีเนื้อแน่นปราศจากรอยแตกร้าว ก็จะสามารถต้านทานการแทรกซึมของสารละลายต่างๆ ได้ดีขึ้น ดังนั้น คอนกรีตจึงมีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมของทะเลได้สูงขึ้น

3. แอลลอยจะช่วยลดความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ในการก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตโดยมีปูนซีเมนต์เป็นสารเชื่อมประสานเพียงอย่างเดียว ความร้อนจะเกิดขึ้นระหว่างเกิดปฏิกิริยาเคมีจะมีผลให้เกิดการแตกร้าวของคอนกรีต ดังนั้นเมื่อนำแอลลอยมาผสมทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนจะสามารถลดอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ทำให้แก้ไขปัญหาเนื่องจากความร้อน ที่เรียกว่า Heat of Hydration ได้

4. แอลลอยจะช่วยเพิ่มความสามารถในการเทและการไหล ได้พบว่าเมื่อนำแอลลอยมาผสมในคอนกรีตโดยใช้แทนปูนซีเมนต์ ร้อยละ 15- 25 จะทำให้คอนกรีตไหลได้สะดวก หินไม่แยกตัว และสามารถเพิ่มผลผลิตได้ในระยะเวลาการก่อสร้างที่จำกัด คือใช้ระยะเวลาที่น้อยลง

ด้วยคุณสมบัติของแอลลอยที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นทำให้ในปัจจุบันได้มีการนำแอลลอยไปประยุกต์ใช้งานก่อสร้างอย่างกว้างขวาง อาทิ เช่นโคโคเดม ในรัฐ New South Wales ประเทศออสเตรเลีย ตึกคอนกรีต Petronas Towers ประเทศมาเลเซีย สะพานเชื่อมระหว่างเกาะสิงคโปร์กับประเทศมาเลเซีย สะพาน Great Belt Eastern Bridge ประเทศแคนาดา งานก่อสร้างอุโมงค์รถไฟ (Channel Tunnel) ผ่านช่องแคบอังกฤษกับประเทศฝรั่งเศส สำหรับประเทศไทยมีการใช้คอนกรีตผสมแอลลอยในงานก่อสร้างท่าเทียบเรือในทะเลที่จังหวัดระยอง งานซ่อมแซมรอยแตกร้าวของตอม่อท่าเทียบเรือสยามซีบอร์ด งานสร้างผนังสูงกันไฟของ

โรงงานไฟฟ้า จังหวัดราชบุรี ทางโค้งกลับรถของโครงการทางด่วน ปากเกร็ด-บางปะอิน จุดเชื่อมกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กกับพื้นอาคารทดสอบของบริษัทการบินไทย จำกัด การเทฐานรากสถานีรถไฟฟ้า บีทีเอส (BTS) กำแพงดินของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน เช่นคลองท่าด่าน งานก่อสร้างคอนกรีตบางส่วนของเขื่อนปากมูล จังหวัดอุบลราชธานี อาคารบำบัดน้ำเสีย กระจกของฐานรากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน จังหวัดราชบุรี และโครงการก่อสร้างและซ่อมบำรุงแผ่นพื้นถนนคอนกรีตของกรมทางหลวง เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าแอลลอยในดีสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ มากมาย ทั้งในเรื่องการนำมาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีตได้เป็นอย่างดี และสามารถทำได้หลายลักษณะทั้งเป็นส่วนผสมของคอนกรีตสำเร็จรูปหรือใช้ในส่วนผสมวัสดุก่อสร้างต่างๆ มีความแข็งแรงและทนทานสูง มีต้นทุนการผลิตต่ำ ซึ่งเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดด้วย ในส่วนของกรมวิทยาศาสตร์บริการได้เล็งเห็นความสำคัญของการนำแอลลอยมาใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมก่อสร้างโดยรวมเป็นอย่างมาก จึงได้ดำเนินการศึกษา วิจัยอย่างต่อเนื่อง อาทิ การนำเข้ามาเป็นส่วนผสมทำอิฐมวลเบา อิฐบล็อกปูพื้นและอิฐบล็อกก่อผนัง เป็นต้น ตลอดจนให้บริการวิเคราะห์ทดสอบตามมาตรฐานต่างๆ ซึ่งมีรายการวิเคราะห์ทดสอบต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมี ประกอบด้วย Moisture, Loss on ignition, Silicon dioxide, Aluminium oxide, Iron (III) oxide, Sulphur trioxide, Calcium oxide, Magnesium oxide, Sodium oxide, Potassium oxide คุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย Fineness, Soundness, Density, Increase of drying shrinkage of mortar bar, Air content, Strength activity index with portland cement, Compressive strength, Water requirement, Setting time เป็นต้น ท่านที่สนใจสามารถขอรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรมกรมวิทยาศาสตร์บริการ โทรศัพท์ 0 2201 7361-63

