

บทที่ 3

กระบวนการผลิตกระเบื้องหลังคา

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนของกระบวนการในการผลิตกระเบื้อง รวมทั้งคุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตกระเบื้องปัจจุบัน และวัตถุดิบใหม่ที่นำมาศึกษาเพิ่มเติม นอกจากนั้น ยังอธิบายถึงการทดสอบคุณภาพของกระเบื้องหลังคาคอนกรีต

3.1 ขั้นตอนในการผลิตกระเบื้องหลังคา

ในขั้นตอนของกระบวนการผลิตกระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา จะเริ่มจากการผสมวัตถุดิบ ซึ่งในปัจจุบัน ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ (ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ชนิดปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1) ทราย (ปัจจุบันใช้ทั้งทรายบกและทรายแม่น้ำ) และน้ำ (ใช้ได้ทั้งน้ำประปาและน้ำบาดาล) โดยนำมาผสมเข้าด้วยกันภายใต้สัดส่วนที่กำหนดไว้ ส่วนผสมที่ได้จะเรียกว่า มอร์ตาร์ (Mortar) จากนั้นนำมอร์ตาร์มาขึ้นรูปให้ได้รูปลอนและขนาดตามที่แบบผลิตกำหนดไว้ เสร็จแล้วนำมาตัดให้ได้ขนาด ก่อนเข้าสู่กระบวนการพ่นสีเคลือบ ซึ่งเป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ ผงสี และสารผสมเพิ่ม โดยจะเป็นลักษณะของการพ่นบนกระเบื้องเปียก ซึ่งจะมีผลทำให้ความสามารถในการจับยึดของชั้นสีกับเนื้อกระเบื้องมีสูงมาก การสีหรือของสีจะดำมากด้วยเช่นกัน เมื่อพ่นสีแล้ว กระเบื้องจะผ่านเข้าพ่นน้ำยาเคลือบผิว เพื่อเพิ่มความมันวาวให้กับกระเบื้อง จากนั้นจะนำกระเบื้องเข้าบ่มในห้องบ่มด้วยอุณหภูมิที่พอเหมาะ ภายใต้เวลาที่กำหนด จนกระทั่งมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะนำมาแกะออกจากแบบผลิต เมื่อบ่มกระเบื้องเรียบร้อยแล้ว จึงนำมาแกะออกจากแบบผลิต และนำเข้าเครื่องเรียงรัดกระเบื้อง เสร็จแล้วนำไปกองเก็บในลานกองเก็บ เพื่อรอส่งมอบให้กับลูกค้าต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตกระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา

3.2 คุณสมบัติของวัตถุดิบ

ในส่วนของคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระเบื้อง จะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ททราย และน้ำ ส่วนวัตถุดิบที่นำมาศึกษาเพิ่มเติม ประกอบด้วย แก้วลอย หรือ Fly Ash และสารลดปริมาณน้ำ หรือ Superplasticizer

3.2.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ จะประกอบด้วยส่วนผสมที่สำคัญดังนี้

1. Calcareous Material ได้แก่ หินปูน (Limestone) และดินสอพอง (Chalk)
2. Argillaceous Materials ได้แก่ ซิลิกา อลูมินา ซึ่งอยู่ในรูปของดินดำหรือดินเหนียว (Clay) และดินดาน (Shale)
3. Iron Oxide Materials ได้แก่ แร่เหล็ก (Iron Ore) หรือคิลาแลง (Laterite)

กรรมวิธีในการผลิตปูนซีเมนต์ จำแนกออกตามลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาใช้ได้เป็น 2 วิธี ประกอบด้วย

1. กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process)
2. กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process)

กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก วัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ ดินสอพอง และดินเหนียว ถูกนำมาผสมกันให้ ได้สัดส่วนที่พอเหมาะตามต้องการ โดยเติมน้ำลงไปช่วยผสมแล้วนำไปบดให้ละเอียดก่อนที่จะป้อนเข้าไปในหม้อเผา (Kiln) ส่วนกรรมวิธีการผลิตแบบแห้งนั้น วัตถุดิบที่ใช้ส่วนใหญ่ ได้แก่ หินปูนและดินดาน จะถูกนำมาผสมกันในสภาพแห้งๆ ให้ได้ตามสัดส่วนที่ต้องการ แล้วบดให้ละเอียด ก่อนที่ป้อนเข้าไปในหม้อเผา

เมื่อส่วนผสมของวัตถุดิบบดได้ที่แล้ว ก็จะถูกป้อนเข้าสู่หม้อเผา ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นหม้อเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาประมาณ 1,400 - 1,500 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้ วัตถุดิบต่างๆ จะถูกหลอมรวมกันเป็น Clinker ทิ้งไว้ให้เย็นตัวลง จากนั้นนำปูนเม็ดที่เย็นตัวลงนี้ มาบดให้ละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่ทำการบดจะมีการเติมยิบซัมลงไปเล็กน้อย ประมาณ 3 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหน่วงเวลาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ อันจะเป็นผลทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานต่อไป

สำหรับกรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศไทย ปัจจุบันนิยมผลิตแบบแห้ง ซึ่งจัดเป็นกรรมวิธีที่ทันสมัยที่สุด เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตไม่ยุ่งยาก และสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อย หม้อเผาปูนซีเมนต์ที่ทันสมัยที่สุดในปัจจุบัน สามารถผลิตปูนซีเมนต์ได้ถึง 10,000 ตันต่อวัน

เมื่อนำวัตถุดิบต่าง ๆ มาเผาในหม้อเผา ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเป็นขั้นตอน ดังนี้

- (1) น้ำจะระเหยออกจากส่วนผสมทั้งหมด
- (2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะถูกขับออกจากหินปูน และดินสอพอง เหลือไว้เพียง CaO
- (3) เกิดการหลอมตัวของออกไซด์ ระหว่าง CaO จากหินปูนและดินสอพอง ซิลิกา อะลูมินา และ เหล็กออกไซด์ จากดินดำหรือดินเหนียว และดินดาน
- (4) เกิดการรวมตัวทางเคมีของออกไซด์ต่าง ๆ และตามด้วยกระบวนการตกผลึกเมื่อทำให้เย็นตัวลง

ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำ ก่อให้เกิดซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาพเหลวช่วงเวลาหนึ่ง โดยคุณสมบัติของเพสต์ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง เรียกช่วงนี้ว่า "Dormant Period" หลังจากนั้น เพสต์จะเริ่มแข็งตัวถึงแม้ว่าจะยังนุ่มอยู่ แต่ไม่สามารถสั่นไหลเข้าแบบได้แล้ว จุดนี้จะเรียกว่า "จุดแข็งตัวเริ่มต้น" (Initial Set) เวลาตั้งแต่ซีเมนต์ผสมกับน้ำจนถึงจุดแข็งตัวเริ่มต้น เรียกว่า "เวลาการก่อตัวเริ่มต้น" (Initial Setting Time) การก่อตัวของเพสต์จะยังคงดำเนินต่อไป จนถึงสภาพที่เป็นของแข็ง หรือ จุดแข็งตัวสุดท้าย (Final Set) และเวลาที่ทำให้เพสต์ถึงช่วงนี้เรียกว่า "เวลาการก่อตัวสุดท้าย" (Final Setting Time) เพสต์ยังคงแข็งตัวต่อไป และสามารถรับน้ำหนักได้ ขบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่า "การแข็งตัว" (Hardening)

การก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบของซีเมนต์ โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะคือ

- (1) อาศัยสารละลาย ซีเมนต์จะละลายในน้ำ ก่อให้เกิด Ions ในสารละลาย และ Ions นี้จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น
- (2) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลาย ปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า Solid State Reaction

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยในช่วงแรกจะอาศัยสารละลาย และในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง

ซีเมนต์จะประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้เกิดการแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ครั้งแรก ซึ่งสามารถแยกประเภทของปฏิกิริยาไฮเดรชันออกได้ดังนี้

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของคัลเซียมซิลิเกต คัลเซียมซิลิเกต จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิด $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ Calcium Silicate Hydrate (CSH) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน โดยปฏิกิริยาประเภทนี้ จะก่อให้เกิด Gel ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือโครงสร้างไม่สม่ำเสมอ และมีรูพรุนองค์ประกอบทางเคมีของ CSH นี้ จะขึ้นอยู่กับอายุ อุณหภูมิ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ส่วน $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นต่างอย่างมาก คือจะมีค่า PH ประมาณ 12.5 ซึ่งจะช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้อย่างดีมาก

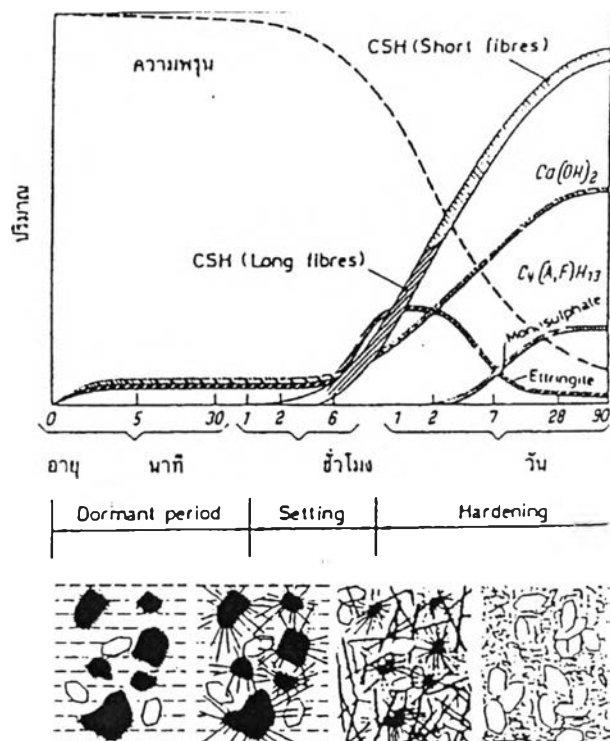
ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรคัลเซียมอลูมิเนต (C_3A) จะเกิดขึ้นทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งจะทำการหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็ว จึงทำการเติมยิปซัมเข้าไปในระหว่างกระบวนการบดซีเมนต์ โดยยิปซัมจะทำปฏิกิริยากับ C_3A ก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาค C_3A ด โดยชั้นของ Ettringite จะก่อให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของ C_3A และทำให้การก่อตัวในช่วงแรกนี้ ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3S และ C_2S เป็นส่วนใหญ่ แต่ชั้นของ Ettringite ไม่ได้หยุดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A กล่าวคือเมื่อเกิด Ettringite จะเกิดแรงดันที่มาจากกาเพิ่มปริมาตรของของแข็ง แรงดันนี้จะทำให้ชั้นของ Ettringite แตกออก และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A แต่เมื่อเกิดการแตกตัว จะเกิด Ettringite ใหม่เข้าไปแทนที่เป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนจะเป็นไปอย่างนี้ จนกระทั่ง Sulphate Ions มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด Ettringite จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A โดยเปลี่ยน Ettringite ไปเป็น Monosulphate ต่อไป

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตราคัลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) จะเกิดในช่วงต้น โดย C_4AF จะทำปฏิกิริยากับยิปซัม และ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของ Sulphoaluminate และ Sulphoferrite

ในการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ จากผลของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยรวมของสารประกอบหลักจะเกิด CSH gel และ Ettringite เคลือบอยู่บนเม็ดซีเมนต์ จะเป็นการหน่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งเรียกว่าช่วง Dormant Period เป็นช่วงเวลาที่ค่อนข้างจะไม่มีอะไรเกิดขึ้นเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ในช่วงเวลาดังกล่าว ซีเมนต์เพสต์ยังคงเหลวและมีความสามารถเทได้

เมื่อสิ้นสุดในช่วง Dormant Period ก็เข้าสู่ช่วงจุดแข็งตัวเริ่มต้น (Initial Set) ซึ่งเป็นช่วงที่ CSH ที่เคลือบอยู่บนเม็ดซีเมนต์แตกตัวออก และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันต่อไป ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะมีขนาดที่ใหญ่กว่า 2 เท่าของซีเมนต์ก่อนเกิดปฏิกิริยา ผลก็คือผลิต

ภักที่ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้จะเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ และเกิดผิวสัมผัสก่อให้เกิดการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ เมื่อเวลาผ่านไป ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมีมาก ก่อให้เกิดความเข้มข้นของจุดสัมผัส จำกัดการเคลื่อนที่ของเม็ดซีเมนต์ ส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์กลายเป็นของแข็ง นั่นคือ เข้าสู่จุดแข็งตัวสุดท้าย (Final Set)



รูปที่ 3.2 การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์

จากรูปแสดงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและโครงสร้างของเพสต์ โดยซีเมนต์เพสต์ จะแสดงด้วยเม็ดสีดำ ในขณะที่ Ca(OH)_2 จะแสดงด้วยรูปเหลี่ยม ผลึกของ Ettringite แสดงโดยเส้นบาง ๆ สั้น ๆ และ CSH จะเป็นเส้นเข็มมีความยาวพอควร จากรูป 3.3 จะพบว่าระหว่างช่วง Dormant Period เม็ดซีเมนต์จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ก่อให้เกิด Ca(OH)_2 และ Ettringite เป็นส่วนใหญ่ หลังจาก 1 ชั่วโมง CSH gel เริ่มเกิดขึ้นโดยมีรูปร่างเป็นเส้นใยยาว การเกิดและการขยายตัว CSH gel นี้จะก่อให้เกิดการก่อตัว ในขณะที่ปริมาณเพิ่มขึ้น ความพรุนของเพสต์จะลดลง และกำลังเริ่มพัฒนาขึ้น

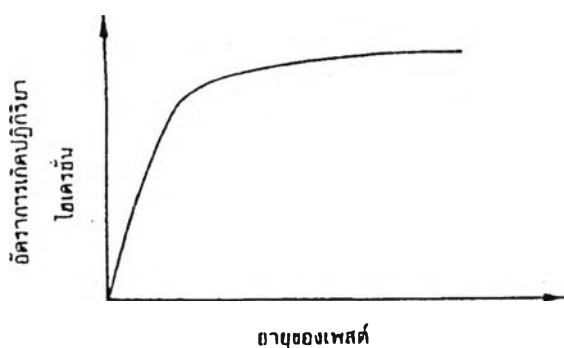
หลังจาก 24 ชั่วโมงไปแล้ว Sulphated Ions ถูกใช้หมดไป อลูมิเนียมและเหล็กออกไซด์ เริ่มก่อตัว และ Ettringite ถูกเปลี่ยนไปเป็น Monosulphate ส่วน C_3S และ C_2S จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

ต่อไป ได้ CSH ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยนั้น ผลผลิตจากไฮเดรชันทั้งหมดนี้ จะไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ ทำให้ความพรุนของเพสต์ลดลงในระยะยาว

อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ และคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว จะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ดังนั้น ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะมีผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ได้แก่

(1) อายุของเพสต์ ยกเว้นช่วง Dormant Period อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมากที่สุดในช่วงแรก และอัตราการลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงช่วงสิ้นสุดของปฏิกิริยาไฮเดรชัน ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

- (2) องค์ประกอบของซีเมนต์ อัตราการเกิดของปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักของซีเมนต์แต่ละตัว จะมีค่าแตกต่างกัน
- (3) ความละเอียดของซีเมนต์ ซีเมนต์ที่มีความละเอียดสูง จะมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสน้ำได้มาก ผลก็คือปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดในอัตราที่เร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของปฏิกิริยา
- (4) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ในช่วงต้น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ในช่วงหลังอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะลดลง ถ้าส่วนผสมมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ลดลง ผลก็คือ ทั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยเฉลี่ยและอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะลดลง

- (5) อุณหภูมิ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีข้อแม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมินี้ต้องไม่ก่อให้เกิดการแห้งตัวของเพสต์
- (6) น้ำยาผสมคอนกรีต น้ำยาหน่วงหรือน้ำยาเร่งการก่อตัว จะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยจะลดและเพิ่มอัตราตามลำดับ

ปูนซีเมนต์ สามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ประกอบด้วย

1. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์
2. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์พิเศษ
3. ปูนซีเมนต์อื่น ๆ

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ตามมาตรฐานทั่วไป สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตใช้มากที่สุด เหมาะสำหรับการผลิตคอนกรีตทั่วไป ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ทรายขี้ ทรายเพชร ทรายพญานาคเขียว เป็นต้น

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เหมาะสำหรับใช้ในงานคอนกรีตที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง ซึ่งในปัจจุบันไม่มีการผลิตใช้ในประเทศไทย

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดเร็ว (High Early Strength Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังอัดสูงในระยะแรก เพราะมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะสำหรับการทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้งานเร็วหรือถอดไม้แบบในเวลาอันสั้น ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ทรายเอราวัณ ทรายสามเพชร ทรายพญานาคสีแดง ข้อควรระวังคือ ไม่ควรใช้ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ในงานโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่ เพราะความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะเกิดสูงมากในช่วงต้น อาจก่อให้เกิดโครงสร้างแตกร้าวได้

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement) ได้ถูกพัฒนาขึ้นใช้ครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำ เหมาะสำหรับงานคอนกรีตหนา (Mass Concrete) เช่น การสร้างเขื่อน เนื่องจากทำให้อุณหภูมิของคอนกรีตขณะก่อตัวต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ซึ่งเป็นการลดปัญหาความเสี่ยงจากการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน (Thermal Cracking) ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตปูนซีเมนต์ประเภทนี้ โดยในปัจจุบันจะมีการใช้

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 นำมาผสมกับ Pulverized Fuel Ash (PFA) และ Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBS) แทน

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภททนซัลเฟตได้สูง (Sulphate Resistance Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะมี C_3A ต่ำ เพื่อจะป้องกันไม่ให้ออกไซด์จากภายนอกมาทำลายเนื้อคอนกรีต เหมาะสำหรับงานโครงสร้างที่มีการกระทำของซัลเฟต ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังอัดช้า และให้ความร้อนต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ตราช้างฟ้า และตราปลาฉลาม

นอกจากปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ทั้ง 5 ประเภทที่กล่าวมาแล้ว ยังมีปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์อีกบางประเภทที่มีการนำมาใช้ในประเทศไทย เรียกว่า ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ชนิดพิเศษ ซึ่งประกอบด้วย

ปูนซีเมนต์ขาว (White Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ที่มี C_4AF อยู่ต่ำมาก จึงมีสีขาว โดยทั่วไปความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ชนิดนี้ จะสูงกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เนื่องจากมี C_3A และ C_3S สูงกว่า เหมาะสำหรับงานตกแต่งต่าง ๆ เช่น งานหินขัด การปูกระเบื้องและงานสถาปัตยกรรมต่าง ๆ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ที่มีใช้ในประเทศไทย ได้แก่ ตราช้างเผือก ตราเสือเผือก ตรามังกร ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะมีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 3.05-3.10 ซึ่งต่ำกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ทั่วไปที่มีค่า 3.15 เล็กน้อย

ปูนซีเมนต์สำหรับบ่อน้ำมัน (Oil Well Cement) โดยทั่วไปจะใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตได้สูง ผสมกับสารหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน ปูนประเภทนี้จะใช้สำหรับงานเจาะบ่อน้ำมัน โดยจะผสมปูนซีเมนต์ประเภทนี้แล้วบ่มลงในใต้ดิน บางทีต้องบ่มลงไปถึงความลึกระดับ 6,000 เมตร หรือมากกว่า และอุณหภูมิสูงถึง 170 องศาเซลเซียส ซีเมนต์เพสต์ชนิดนี้ยังต้องเหลวพอที่จะทำงานได้จนถึงประมาณ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะแข็งตัวโดยเร็ว

ปูนซีเมนต์ซิลิกา หรือปูนซีเมนต์ผสม (Silica Cement) ผลิตโดยการบดปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับทรายและหินปูน ประมาณ 25-30 % คุณสมบัติโดยทั่วไปของปูนซีเมนต์ประเภทนี้คือ จะแข็งตัวช้า ไม่ยัดหรือหดตัวมาก ช่วยลดการแตกร้าวที่ผิว เหมาะสำหรับผสมทำปูนก่อปูนฉาบ นอกจากนี้ปูนประเภทนี้จะให้กำลังอัดไม่สูงมากนัก ตัวอย่างปูนซีเมนต์ประเภทนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเสือ ตรางูเห่า ตรานกอินทรี

นอกจากปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ทั้ง 2 ชนิดแล้ว ยังมีปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ อีกดังนี้

High Alumina Cement (HAC) หรือ Calcium Aluminate Cement ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ได้ถูกพัฒนาขึ้นใช้ครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศส เพื่อทนทานต่อซัลเฟต แต่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานที่ต้องการกำลังอัดอันรวดเร็ว HAC ได้จากการเผาผลาญของหินปูน และ Bauxite ซึ่งก็คืออลูมิเนียม ที่อุณหภูมิสูง 1,600 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาบด สารประกอบของ HAC จะเข้มข้นกว่าเนื่องจากมีปริมาณสารประกอบของเหล็กอยู่ในจำนวนมาก HAC บางครั้งก็เรียกว่า Ciment Fondi ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะมีราคาแพงกว่าปูนซีเมนต์ทั่วไปมาก ดังนั้น จึงควรเลือกใช้เฉพาะในกรณีที่จำเป็นเท่านั้น เช่น ในงานที่ต้องการใช้คอนกรีตทนซัลเฟตได้ดีมากๆ งานซ่อมคอนกรีตที่ต้องการกำลังอัดสูงในเวลาอันรวดเร็ว โดยจะได้กำลังอัดสูงถึง 240 กก./ตร.ซม. ในเวลาเพียง 6-8 ชั่วโมง รวมไปถึงการทำอิฐทนไฟ อย่างไรก็ตาม HAC มีข้อเสียคือ ในบริเวณที่มีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น หรือเมื่อใช้งานคอนกรีตนี้เป็นเวลานาน จะเกิดการสลายตัว Conversion โดยความพรุนในเนื้อคอนกรีตจะเพิ่มมากขึ้น และความสามารถในการผ่านไต่ของน้ำ (Permeability) ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ผลที่ตามมาคือ กำลังอัดจะลดลงถึง 80 % ในการใช้งานไม่ควรที่จะนำ HAC ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป เพราะจะก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว (Flash Set)

Magnesium Phosphate Cement หรือที่รู้จักในชื่อทางการค้าคือ Set 45 ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ถูกคิดค้นขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ จะแข็งตัวและให้กำลังอัดสูงมากภายในเวลาเพียง 45 นาที เหมาะสำหรับใช้ในงานซ่อมต่างๆ โดยเฉพาะจะใช้ซ่อมแซมพื้นสนามบินในช่วงสงคราม

3.2.2 ทราย

ทรายที่ใช้ในการผลิตกระเบื้องคอนกรีต สามารถแบ่งได้ตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิดคือ

- ทรายแม่น้ำ
- ทรายบก

ทรายแม่น้ำ เป็นทรายที่เกิดจากการกัดเซาะของกระแสน้ำแล้วค่อยๆ ตกตะกอน สะสมกลายเป็นแหล่งทรายอยู่ใต้ท้องน้ำ โดยทรายที่มีขนาดใหญ่ จะตกตะกอนอยู่บริเวณต้นน้ำ ส่วนทรายละเอียดนั้น ก็จะถูกกระแสน้ำพัดมารวมที่บริเวณท้ายน้ำ ในการนำทรายขึ้นมาจากท้องน้ำ จะใช้เรือดูด ดูดทรายขึ้นมาตามท่อ แล้วทั้งทรายลงบนตะแกรงของเรืออีกลำ ตะแกรงจะทำหน้าที่ร่อนแยกกรวดที่มีขนาดใหญ่ออกก่อนที่จะดูดทรายขึ้นบนเรืออีกลำ เมื่อทรายเต็มเรือ ก็จะใช้เรืออีกลำลากเรือบรรทุกทรายไปยังท่าทราย ทรายที่ได้จะยังไม่สะอาดนัก เนื่องจากมีสารอินทรีย์ เศษตะกอนของดินโคลนปะปนอยู่ โดยทั่วไปจะต้องมีการล้างทรายอีกครั้ง คือเมื่อเรือบรรทุกทรายมาถึงท่า ทรายจะถูกทิ้งลงน้ำบริเวณใกล้ท่า โดยการเปิดท้องเรือให้ทรายไหลลงแม่น้ำ แต่ถ้าเรือที่ลำเลียงทรายเปิดท้องเรือไม่ได้ ก็จะใช้สายพานลำเลียงทรายทิ้งลงแม่น้ำ จากนั้นจะใช้เรือดูด ดูดทรายขึ้นมา ทำวิธีการเดียวกันกับการ

ดูดทรายขึ้นจากท้องน้ำครั้งแรก แตกต่างกันที่ตะแกรงที่ใช้จะสามารถแยกได้ทั้งทรายหยาบทรายละเอียด ทรายที่ได้จัดเป็นทรายที่สะอาด เพราะการล้างถึง 2 ครั้ง

ขั้นตอนต่อไป คือการล้างทรายไปเก็บยัง Stock โดยใช้สายพานลำเลียงจากเรือไปเก็บยังยั้งจนเต็ม เมื่อยังเต็มก็จะลำเลียงทรายไปเก็บยัง Stock ต่อไป ทรายที่เก็บไว้ในยั้งสามารถลำเลียงลงรถบรรทุกได้โดยสะดวก เพียงเปิดปากยั้งให้ทรายไหลลงในรถบรรทุกเอง ส่วนทรายที่กอง Stock อยู่หากจะนำไปใช้ จะใช้รถตักขนทรายใส่รถบรรทุกอีกครั้ง

ทรายบก เป็นทรายที่เกิดจากการตกตะกอน ทับถมกันของลำน้ำเก่า ที่แปรสภาพเป็นพื้นดิน โดยมีซากพืช ซากสัตว์ทับถมที่ผิวหน้า ซึ่งเราเรียกกันว่า หน้าดิน ที่มีความหนาประมาณ 2-10 เมตร โดยการนำทรายมาใช้ เริ่มจากการเปิดหน้าดินก่อนด้วยรถตักดิน จากนั้นจะขุดดินลงไปจนถึงระดับน้ำใต้ดิน จนมีสภาพเป็นแอ่งน้ำขนาดใหญ่ แล้วนำเรือดูด ดูดทรายผ่านมาตามท่อ โดยที่ปลายท่อจะมีตะแกรงแยกกรวดออก ขณะเดียวกันก็สามารถติดตะแกรงเพื่อแยกทรายหยาบ และทรายละเอียดได้ ทรายที่ผ่านการร่อนแยกจะถูกนำไปทิ้งน้ำบริเวณริมฝั่ง จากนั้นจะใช้รถตักตักทราย เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ในการวิเคราะห์คุณภาพของทรายที่จะนำมาใช้ในการผลิตกระเบื้องคอนกรีตทุกหลังคา จะใช้การวิเคราะห์ขนาดคละของทรายในการพิจารณา โดยการวิเคราะห์ขนาดคละ จะเป็นการทดสอบคุณภาพของทรายที่จะนำมาใช้งาน โดยวิธีการที่ใช้จะประกอบด้วยการวิเคราะห์ด้วยตะแกรง โดยการเก็บตัวอย่างปริมาณหนึ่งมาร่อนบนตะแกรงขนาดต่างๆ ซึ่งวางเรียงตามขนาดช่องว่างของตะแกรงจากขนาดใหญ่สุดข้างบนถึงขนาดเล็กสุด และถาดรองด้านล่าง แล้วทำการร่อน โดยอาจใช้มือโยกหรือใช้เครื่องร่อน การร่อนจะทำโดยใช้ตะแกรงเคลื่อนไหวทั้งทางราบและทางแนวตั้ง รวมทั้งการตบเขย่าเพื่อให้วัสดุตัวอย่างเคลื่อนไหวอยู่บนตะแกรงตลอดเวลา ผลการวิเคราะห์จะนำมาใส่ในตารางซึ่งประกอบด้วย

ช่องที่ 1	น้ำหนักวัสดุที่ค้างอยู่บนตะแกรง
ช่องที่ 2	ค่าร้อยละของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด
ช่องที่ 3	ค่าร้อยละสะสมของวัสดุที่ค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐาน
ช่องที่ 4	ค่าร้อยละสะสมของวัสดุสะสมที่ผ่านตะแกรงมาตรฐาน

ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์ขนาดคละ

ขนาดตะแกรง มาตรฐาน	น้ำหนักที่ค้างบน ตะแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ค้างบน ตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ ค้างบนตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ ผ่านตะแกรง
เบอร์ 4	32	2.0	2.0	98
8	90	5.9	7.9	92.1
16	211	13.7	21.6	78.4
30	530	34.5	56.1	43.9
50	530	34.5	90.6	9.4
100	140	9.1	99.7	0.3
ตะแกรง	5	0.3	100	
น้ำหนักรวม	1,538	100		

โมดูลัสความละเอียด คือตัวเลขที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในมวลรวม โดยที่ โมดูลัสความละเอียด (F.M.) = $1/100$ (ผลบวกของร้อยละสะสมของอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน)

ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้โดยทั่วไป มีขนาด เบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100 ตัวอย่างการหาค่า F.M. จากข้อมูลในตารางที่ 3.1 จะหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{F.M.} &= 1/100 (2+7.9+21.6+50.1+90.6+99.7) \\ &= 2.78 \end{aligned}$$

ทรายที่ใช้ในการผลิตกระเบื้องคอนกรีต โดยทั่วไปจะมีค่าโมดูลัสความละเอียดตั้งแต่ 2.3-3.2 ทรายที่มีค่า F.M. สูงคือทรายที่มีความหยาบมาก เช่นทรายที่มีค่า F.M. 3.2 จะมีความหยาบมากกว่าทรายที่มีค่า F.M. 2.3 เป็นต้น ทรายที่มีความละเอียดมาก จำเป็นต้องใช้น้ำมากเพื่อให้ความสามารถเทได้เท่า ๆ กัน

3.2.3 น้ำ

น้ำที่ทำมาใช้ในการผลิตกระเบื้องคอนกรีต โดยหน้าที่หลักจะใช้ในการทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยน้ำที่จะใช้อาจนำมาจากน้ำประปา หรือน้ำบาดาลก็ได้

คุณสมบัติของน้ำที่นำมาใช้ในการผลิตกระเบื้องคอนกรีต จะต้องเป็นน้ำที่ปราศจากความเป็นกรดต่าง น้ำมัน และสารอินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งโดยปกติทั่วไป น้ำประปาและน้ำบาดาลจะมีคุณสมบัติที่ดีพอ

สำหรับการนำมาใช้งาน นอกจากนั้นยังต้องมีส่วนประกอบและคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ ประกอบด้วย

1. ปริมาณตะกอน (Solid Content)	ไม่เกิน	50,000	ส่วนในล้านส่วน (ppm)
2. ซัลเฟต (SO ₄)	ไม่เกิน	3,000	ส่วนในล้านส่วน (ppm)
3. คลอไรด์ (Cl)	ไม่เกิน	500	ส่วนในล้านส่วน (ppm)
4. น้ำมัน	ไม่เกิน	2	%

3.2.4 เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย

เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย (Fly Ash หรือ Pulverized Fuel Ash) ได้จากการเผาถ่านหินในโรงงาน หรือ โรงงานไฟฟ้าถ่านหิน โดยเถ้าลอยจะถูกดูดจับไว้ด้วยตัวดักจับ แล้วรวบรวมเก็บไว้ในไซโล มีสีเทา เทาดำ หรือน้ำตาล เถ้าลอยจะมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน (Pozzolan) มีส่วนประกอบหลักเป็นอันวยรูปของซิลิกาและอะลูมินา เมื่ออยู่ในสภาพแห้งและป่นเป็นฝุ่น จะไม่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างอนุภาค แต่เมื่อสัมผัสเข้ากับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติ จะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับสาร Ca(OH)₂ และเกิดเป็นสารใหม่ที่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสาน (Cementitious) โดยที่คุณสมบัติดังกล่าว จะขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา และช่วงเวลาการเผา ดังนั้นคุณภาพและความสม่ำเสมอของเถ้าลอย จึงขึ้นอยู่กับแต่ละแหล่งที่เผาถ่านหิน

ถ่านหินเมื่อถูกบดให้ละเอียด จะถูกลำเลียงด้วยสายพานมายังเตาเผา คาร์บอนในถ่านหินจะเผาไหม้เปลี่ยนแปลงสภาพของแร่ธาตุที่มีอยู่ ให้เป็นแร่ธาตุในรูปของออกไซด์ของโลหะหลายชนิด กากที่เหลือจากการเผาไหม้ในเตาจะเกิดเป็นเถ้าที่มีอนุภาคที่เล็ก ลอยตัวมาปะปนมาพร้อมกับไอร้อนไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าบริเวณปล่องควัน และจะถูกดูดจับรวมไว้ใน Ash Hopper อนุภาคที่เล็กเหล่านี้จะเรียกว่า เถ้าลอย (Fly Ash , Pulverized Fuel Ash , Dry Ash) ซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 75-85 ของเถ้าทั้งหมด โดยทั่วไปเถ้าลอยจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 1 ไมครอน จนถึง 150 ไมครอน ส่วนที่มีอนุภาคที่ใหญ่ จะเกิดจากการปะทุของอนุภาคเถ้าในบริเวณที่เกิดการสันดาป (Combustion Zone) อุณหภูมิบริเวณนี้จะสูง แล้วหลอมเถ้าที่ปะทะกันกลายเป็นเม็ดหรือก้อนตกลงสู่เตา บางส่วนของเถ้าจะปะทะกับผนังเตาและหลอมติดกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ เรียกว่า ตะกรัน (Slag) เมื่อน้ำหนักรวมกันมาก ก็ไหลลงสู่ก้นเตาตามลำดับ เถ้าที่ได้นี้เรียกว่า เถ้าตะกรัน (Furnace Bottom Ash หรือ Slag Ash) ซึ่งจะมีปริมาณร้อยละ 15-25 โดยน้ำหนัก

เถ้าลอยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชั้นคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C618-94a (1995) ได้แก่ ชั้นคุณภาพ F และชั้นคุณภาพ C โดยใช้อัตราส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยที่ได้หลังจากการเผาถ่านหิน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การแบ่งชั้นคุณภาพของเถ้าลอย

คุณสมบัติ	ประเภทของเถ้าลอย	
	ชั้นคุณภาพ F	ชั้นคุณภาพ C
1. $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, ร้อยละ	70.0	50.0
2. SO_3 , มากที่สุดร้อยละ	5.0	5.0
3. ปริมาณความชื้น , มากที่สุดร้อยละ	3.0	3.0
4. การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ , มากที่สุดร้อยละ	6.0	6.0
5. ดัชนีกำลัง , น้อยที่สุดร้อยละ	75.0	75.0

เถ้าลอยชั้นคุณภาพ F เป็นเถ้าลอยที่มีผลรวมของซิลิกาออกไซด์ เฟอร์ริกออกไซด์ และอะลูมินาออกไซด์ มากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก เกิดจากการเผาถ่านหินประเภทแอนทราไซต์ และบิทูมินัส มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 5 ดังนั้นเถ้าลอยประเภทนี้ บางครั้งจึงเรียกว่า Low-Calcium Fly Ash หมายถึงเถ้าลอยที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำ ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นซีเมนต์อยู่น้อย หรือแทบจะไม่มี แต่ยังมีคุณสมบัติของวัสดุปอซโซลาน เถ้าลอยประเภทนี้ได้ถูกนำมาใช้งานแทนที่ซีเมนต์ในงานสร้างเขื่อน โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติการรับแรงของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยประเภทนี้แทนที่ซีเมนต์ พบว่าการพัฒนากำลังรับแรงอัดในช่วงต้นจะต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่หลังจากที่ปฏิกิริยาปอซโซลานได้เริ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดในช่วงปลายของคอนกรีตที่ได้รับการผสมด้วยปริมาณที่เหมาะสมจะพัฒนาเท่าเทียมกับคอนกรีตธรรมดา

เถ้าลอยชั้นคุณภาพ C เป็นเถ้าลอยที่มีผลรวมของซิลิกาออกไซด์ เฟอร์ริกออกไซด์ และอะลูมินาออกไซด์ อยู่ระหว่างร้อยละ 50 ถึง 70 โดยน้ำหนัก เกิดจากการเผาถ่านหินประเภทลิกไนต์ และซับบิทูมินัส มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์อยู่ประมาณร้อยละ 15-23 ดังนั้น เถ้าลอยประเภทนี้บางครั้งจึงเรียกว่า High-Calcium Fly Ash ซึ่งมีทั้งคุณสมบัติของซีเมนต์และปอซโซลานในตัวเอง กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยชนิดนี้แทนที่ซีเมนต์จะพัฒนาได้อย่างรวดเร็วในช่วงต้น

คุณภาพและปริมาณของเถ้าลอย สามารถแปรผันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ชนิดของถ่านหิน อุณหภูมิที่ใช้เผาและระบบการดักจับเถ้า

เถ้าลอยโดยทั่วไปจะมีรูปร่างโดยส่วนใหญ่ลักษณะค่อนข้างกลม หรือเกือบกลม บางครั้งอาจพบในลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งมีน้ำหนักเบาลอยน้ำได้ หรืออาจพบในลักษณะที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ซึ่งต่างจากซีเมนต์ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นแท่งหรือเหลี่ยม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผาถ่านหิน ความละเอียดของถ่านหินก่อนเผาและชนิดของถ่านหิน ซึ่งจากจุดเด่นทางด้านรูปร่างของเถ้าลอยที่มีทรง

กลม หลังจากทดแทนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตแล้ว จะเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของคอนกรีต ทำให้เนื้อคอนกรีตแน่นทึบ หรือในการเทคอนกรีตในที่แคบ ๆ ที่ต้องการให้ลื่นไหลได้ ซึ่งคอนกรีตบางชนิดจำเป็นต้องอาศัยคุณสมบัติเหล่านี้ แต่ถ้ามีรูปร่างไม่แน่นอน หรือมีรูพรุน อาจมีผลต่อปริมาณน้ำที่ใช้ ซึ่งมีผลให้กำลังอัดของส่วนผสมต่ำลงได้



เม็ดลอมลักษณะกลม

เม็ดลอมลักษณะที่มีรูพรุน

เม็ดลอมที่มีลักษณะไวแ่มนอน

รูปที่ 3.4 อนุภาคของเม็ดลอมที่มีลักษณะต่าง ๆ กัน

3.2.5 สารผสมคอนกรีต

สารผสมคอนกรีต คือสารละลายเคมีชนิดต่าง ๆ ที่ใส่ผสมลงไปนคอนกรีต เพื่อเปลี่ยนเวลาการก่อตัวและลดปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C494 แบ่งสารเคมีผสมเพิ่มเหล่านี้ออกเป็น 7 ประเภทคือ

ประเภท A	สารลดปริมาณน้ำ (Water Reducing)
ประเภท B	สารยัดเวลาการก่อตัว (Retarding)
ประเภท C	สารเร่งเวลาการก่อตัวและแข็งตัว (Accelerating)
ประเภท D	สารลดปริมาณน้ำ และยัดเวลาการก่อตัว (Water Reducing and Retarding)
ประเภท E	สารลดปริมาณน้ำ และเร่งเวลาการก่อตัว (Water Reducing and Accelerating)
ประเภท F	สารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก (Water Reducing - High Range)
ประเภท G	สารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก และยัดเวลาการก่อตัว (Water Reducing-High Range and Restarding)

(1) สารลดปริมาณน้ำ

สารลดปริมาณน้ำ หรือที่รู้จักในชื่อ Plasticizer หมายถึงสารผสมเพิ่มเติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำที่จะต้องใส่ผสม โดยได้ความชื้นเหลวตามกำหนด และไม่มีผลกระทบต่อปริมาณฟองอากาศหรือเวลาการก่อตัวของคอนกรีต การใช้สารลดปริมาณน้ำ ทำให้เกิดประโยชน์ดังนี้

กรณีที่ 1 ใช้เพื่อช่วยให้งานเทคอนกรีตที่ทำได้ยาก เช่น โครงสร้างที่บางหรือมีเหล็กเสริมจำนวนมาก คอนกรีตนี้จะมีความสามารถในการเทได้ดี ง่ายต่อการจี้เขย่าเข้าแบบ โดยไม่ต้องเพิ่มน้ำหรือซีเมนต์

กรณีที่ 2 คอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ตามที่ต้องการ โดยใช้ปริมาณน้ำลดลงในขณะที่ปริมาณซีเมนต์คงที่ นั่นคืออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะลดลง ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น การต้านทานการซึมผ่านของน้ำและความคงทนสูงขึ้น หรืออาจจะประยุกต์ใช้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มกำลังอัด โดยไม่สามารถเพิ่มปริมาณซีเมนต์ได้ เพราะจะเกิดปัญหาด้านอุณหภูมิที่สูงขึ้น หรือเกิดการหดตัวทำให้เกิดการแตกร้าว โดยเฉพาะในโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น ฐานรากแผ่น เป็นต้น

กรณีที่ 3 คอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ตามที่ต้องการ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ นั่นคือ จะสามารถลดปริมาณซีเมนต์ลงได้

สารลดปริมาณน้ำ ได้มาจากสารประกอบหลัก 3 ประเภท คือ

- (1) เกลือและสารประกอบของ Lignosulphonate
- (2) เกลือและสารประกอบของ Hydroxycarboxylic Acid
- (3) Polymer เช่น Hydroxylated Polymers

สารลดปริมาณน้ำ โดยทั่วไป จะทำมาจากสารประกอบ 2 ชนิดแรก

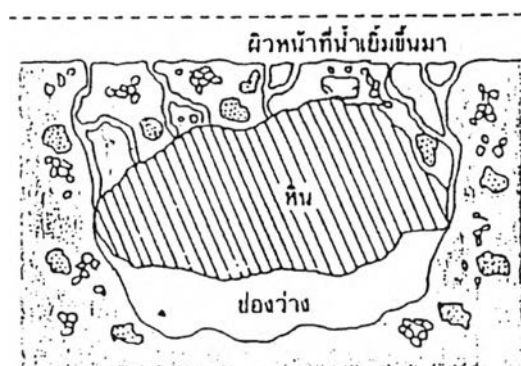
การลดปริมาณน้ำในส่วนผสม เป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับงานคอนกรีต จะพบว่าสารเคมีผสมคอนกรีต 5 ใน 7 ชนิด จะมีคุณสมบัติการลดปริมาณน้ำ ซึ่งหน้าที่ของน้ำในส่วนผสมคอนกรีต จะประกอบด้วย

- (1) เข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์ หรือเรียกว่าปฏิกิริยา Hydration
- (2) ทำหน้าที่เคลือบหินและทรายให้เปียก เพื่อซีเมนต์จะเข้าเกาะและแข็งยึดติดกัน
- (3) ทำหน้าที่หล่อลื่นให้หิน ทราย ซีเมนต์ ให้อยู่ในสภาพเหลว ให้สามารถไหลเข้าแบบได้ง่าย

น้ำจำนวนพอดีที่จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน คือประมาณ $28 + 1\%$ ของน้ำหนักซีเมนต์ หรือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) = $0.28 + 0.01$ แต่คอนกรีตทั่วไปใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มากกว่า 0.35 น้ำที่เกินนี้จะเข้าไปทำหน้าที่ในข้อ 2 และ 3 ทำให้คอนกรีตเหลว ทำงานได้สะดวกเพิ่มขึ้น น้ำส่วนนี้ถูกเรียกว่า น้ำส่วนเกิน (Excess Water)

น้ำส่วนเกินนี้ ถ้ามีมากเกินไปจะมีผลเสียต่อคอนกรีต คือ

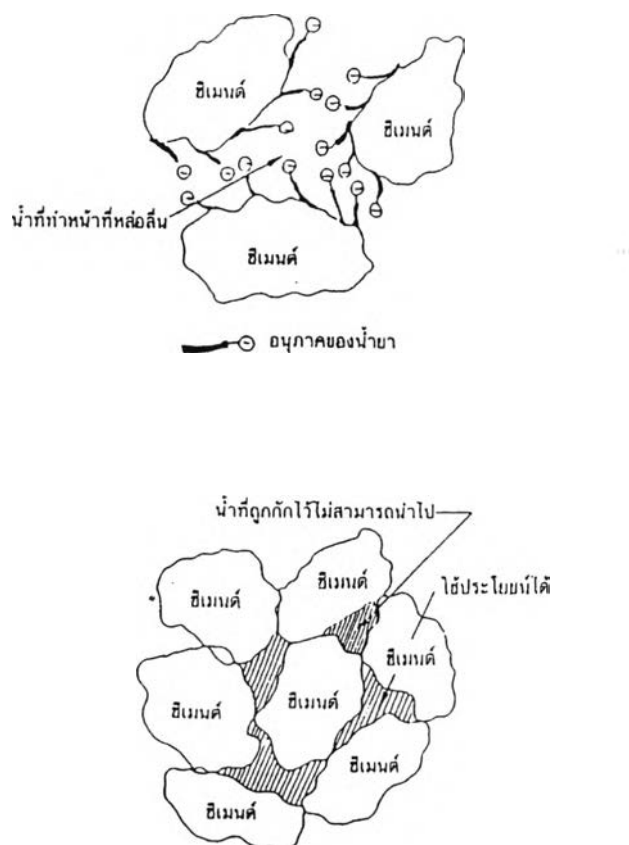
- (1) เกิดการเยิ้มของน้ำขึ้นที่ผิวหน้ามาก (Bleeding)
- (2) เกิดการแยกตัว
- (3) กำลังอัดต่ำลง
- (4) เกิดการหดตัว
- (5) ทำให้เกิดรูพรุน มีผลทำให้คอนกรีตขาดความทนทาน



รูปที่ 3.5 คอนกรีตที่ใช้ปริมาณน้ำมากเกินไป

จากรูปที่ 3.5 ลักษณะของคอนกรีตที่ใช้ปริมาณน้ำมากเกินไป น้ำส่วนหนึ่งจะอยู่ในลักษณะเป็นแอ่งใต้หินและบางส่วนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวหน้าคอนกรีต ซึ่งคือการเยิ้ม (Bleeding) เมื่อคอนกรีตแข็งตัว แอ่งน้ำดังกล่าวจะกลายเป็นโพรงอากาศ ทำให้ความทนทานและกำลังอัดของคอนกรีตต่ำลง

การใส่สารผสมเพิ่มนี้ จะช่วยลดความต้องการน้ำของคอนกรีต ทั้งนี้เพราะมีคุณสมบัติในการช่วยเปลี่ยนคุณสมบัติของผิวต่อระหว่างของแข็งและน้ำในคอนกรีต ปกติอนุภาคซีเมนต์ต่างๆ ในคอนกรีตจะมีประจุไฟฟ้าเหลือตกค้างบนผิว ซึ่งอาจจะเป็นขั้วบวกหรือลบก็ได้ อนุภาคซึ่งมีประจุต่างกัันจะดูดรวมกันเป็นกลุ่ม (Floccurate) ซึ่งสามารถดูดน้ำได้จำนวนมากทำให้เหลือน้ำหล่อลื่นคอนกรีตเหลวอยู่น้อย โมเลกุลของสารผสมเพิ่มชนิดนี้ จะช่วยทำให้ประจุเป็นกลาง หรือทำให้ประจุบนผิวอนุภาคต่างๆ กลายเป็นประจุนิตเดียวกัน จึงเกิดแรงผลักรันซึ่งกันและกัน ทำให้แยกตัวในเนื้อเพสต์ น้ำที่ผสมไปในคอนกรีตส่วนใหญ่จึงถูกใช้เพื่อลดความหนืดของเพสต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะการทำงานของสารลดปริมาณน้ำ

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำงาน ได้แก่

- (1) ชนิดและปริมาณการใช้ของสารลดปริมาณน้ำ
- (2) ชนิดของซีเมนต์และสารประกอบ
- (3) ชนิดของมวลรวมและส่วนคละ
- (4) สัดส่วนผสม
- (5) อุณหภูมิ

ถ้าใช้สารลดปริมาณน้ำในปริมาณปกติ ปริมาณน้ำที่ลดลง จะอยู่ในช่วง 5-10 % อย่างไรก็ตาม ควรทดสอบในห้องปฏิบัติการก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง เพื่อหาชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มที่จะให้บรรลุคุณสมบัติที่เหมาะสม

ผลกระทบต่อคอนกรีตสด ประกอบด้วย

- สารลดปริมาณน้ำ จะเพิ่มความสามารถในการเทได้ ถ้าไม่มีการปรับส่วนผสมอื่น ๆ โดยปกติจะทำให้คอนกรีตมีค่ายุบตัวเพิ่มขึ้น 25-50 มิลลิเมตร
- สารลดปริมาณน้ำที่มีสารประกอบของ Hydroxycarboxylic Acid จะสามารถลดปริมาณน้ำได้มากกว่าสารประกอบของ Lignosulphonate
- ค่าอัตราการสูญเสียการยุบตัว (Slump Loss) ในช่วงแรกของคอนกรีตที่ใส่สารลดปริมาณน้ำจะมากกว่าคอนกรีตทั่วไป
- สารลดปริมาณน้ำที่มาจากเกลือของ Hydroxycarboxylic Acid มีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดการเยิ้มตัว (Bleeding) ดังนั้นควรใช้ด้วยความระมัดระวัง โดยเฉพาะกับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัว
- สารลดปริมาณน้ำที่มาจาก Lignosulphonate จะลดการเยิ้ม เนื่องจากสารประกอบพวกนี้จะก่อให้เกิดฟองอากาศขึ้นเล็กน้อย คืออยู่ในช่วง 1-3 %
- โดยทั่วไปสารลดปริมาณน้ำ จะมีผลต่อเวลาการก่อตัวคือจะหน่วงเวลาการก่อตัวเล็กน้อย
- ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมคอนกรีต สารลดปริมาณน้ำจะไม่มีผลต่อความร้อนจากปฏิกิริยาของคอนกรีต (Heat of Hydration)

ผลกระทบต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ประกอบด้วย

- ถ้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากัน คอนกรีตที่ใส่สารลดปริมาณน้ำจะทำให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตทั่วไปเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายตัวที่ดีของเม็ดปูนซีเมนต์ในส่วนผสม
- เนื่องจากสารลดปริมาณน้ำ ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง นั่นคือ กำลังอัดที่อายุ 28 วันจะสูงขึ้น ผลทางอ้อมคือ กำลังอัดช่วงต้นก็จะเพิ่มขึ้นด้วย
- การหดตัว (Drying Shrinkage) และ Creep จะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความสามารถเทได้และกำลังอัดที่ 28 วันเท่ากัน
- ผลของการลดปริมาณน้ำในส่วนผสม ทำให้ความทนทานและการกันซึมสูงขึ้น เพราะคอนกรีตมีเนื้อแน่น

(2) สารยัดเวลาการก่อตัว

สารยัดเวลาการก่อตัว เป็นสารเคมีที่หน่วงอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งส่งผลหน่วงการก่อตัวของคอนกรีตด้วย สารผสมเพิ่มชนิดนี้ โดยทั่วไปจะใช้ในงานคอนกรีตในเขตร้อน เช่นในประเทศไทย เพราะที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดเร็วมาก เวลาการก่อตัวของซีเมนต์จะลดลง นอกจากนี้ก็ยังเหมาะสำหรับงานคอนกรีตประเภทอื่นๆ อีกเช่น

- งานโครงสร้างขนาดใหญ่ โดยยึดเวลาการก่อตัว เพื่อป้องกันการเกิด Cold Joint
- งานเขื่อน โดยลดความร้อนในคอนกรีต เพื่อป้องกันการแตกร้าว
- งานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ ซึ่งบางครั้งต้องยึดเวลาการแข็งตัวของคอนกรีตออกไป 6-8 ชั่วโมง

สารผสมเพิ่มชนิดยึดเวลาการก่อตัว แบ่งได้เป็น 4 ประเภทตามส่วนประกอบทางเคมี ดังนี้

- (1) กรด Lignosulphonate และเกลือของมัน
- (2) กรด Hydroxycarboxylic และเกลือของมัน
- (3) น้ำตาลและสารประกอบของน้ำตาล
- (4) เกลืออนินทรีย์

สารเคมีหลาย ๆ ตัวจะเหมือนกับสารลดปริมาณน้ำ แต่จะใช้ในปริมาณที่มากกว่า ในส่วนของลักษณะการทำงาน มีหลายทฤษฎีที่พยายามอธิบายการทำงานของสารผสมเพิ่มชนิดนี้ แต่ทฤษฎีที่สำคัญที่สามารถอธิบายเรื่องนี้ได้ดี คือสารผสมเพิ่มชนิดยึดเวลาการก่อตัวนี้จะถูกดูดซึมไว้บนผิวของอนุภาคซีเมนต์ ส่งผลให้อัตราการดูดซึมผ่านของน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับอนุภาคซีเมนต์ลดลง นั่นคือ การหน่วงเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงาน ได้แก่

- (1) ชนิดและปริมาณการใช้สารยึดเวลาการก่อตัว
- (2) ชนิดของซีเมนต์และสารประกอบ
- (3) เวลาที่เติมสารยึดเวลาการก่อตัว
- (4) อุณหภูมิ

สารยึดเวลาการก่อตัวจะขยายเวลาการแข็งตัวของคอนกรีต ทั้งเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) และเวลาการก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time) ส่วนผลด้านการยึดเวลาพบว่าคอนกรีตที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อย จะยึดเวลาได้นานกว่าคอนกรีตที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์สูง

ความสามารถในการยึดเวลาการก่อตัวของสารผสมเพิ่มนี้ จะดีขึ้นหากว่าเติมน้ำยาประเภทนี้ 2-3 นาที หลังจากการใส่น้ำผสม และจะให้ผลเต็มที่เมื่อเติม 10 นาที หลังผสม ถ้าเติมหลัง 2-4 ชั่วโมง สารผสมเพิ่มนี้จะไม่ก่อให้เกิดผลด้านการยึดเวลาการก่อตัว ปริมาณการใช้สารผสมเพิ่มชนิดนี้ จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ผลกระทบต่อคอนกรีตสด ประกอบด้วย

- ผลโดยตรงคือ หน่วงเวลาการก่อตัวและแข็งตัวของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้นาน รวมทั้งมีค่าการสูญเสียค่ายุบตัวน้อยลง
- หน่วงการเกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่ปริมาณความร้อนทั้งหมดยังคงเดิม
- สารยึดเวลาการก่อตัว มีแนวโน้มจะเพิ่มการหดตัว (Plastic Shrinkage) เพราะคอนกรีตจะเหลวอยู่นานกว่าปกติ ดังนั้นคอนกรีตที่ผสมสารยึดเวลาการก่อตัว จึงจำเป็นที่จะต้องบ่มอย่างถูกต้อง และเพียงพอเพื่อป้องกันการแตกร้าว (Plastic Cracking) ซึ่งจะเกิดขึ้น ถ้าปล่อยให้คอนกรีตแห้งก่อนที่คอนกรีตจะมีกำลังอัดเพียงพอ

ผลกระทบต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ประกอบด้วย

- กำลังอัดของคอนกรีตในช่วงต้นจะลดลง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการยึดเวลาการก่อตัว แต่เมื่อคอนกรีตมีอายุ 2-3 วัน กำลังอัดจะใกล้เคียงกับคอนกรีตทั่วไป
- อัตราการเกิด Drying Shrinkage และ Creep เพิ่มขึ้น แต่ค่ารวมจะไม่เปลี่ยนแปลง

(3) สารเร่งเวลาการก่อตัว และแข็งตัว

สารเร่งเวลาการก่อตัวและแข็งตัว เป็นสารที่เร่งปฏิกิริยาไฮเดรชัน ส่งผลเร่งการก่อตัว และการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตในช่วงต้น โดยทั่วไปจะใช้สำหรับในงาน

- งานก่อสร้างเร่งด่วน เช่น งานที่ต้องถอดไม้แบบเร็ว งานซ่อมแซมต่าง ๆ
- งานหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตในโรงงาน เพื่อให้การหมุนเวียนแบบหล่อทำได้อย่างรวดเร็ว
- งานคอนกรีตในฤดูหนาว สำหรับในประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นจัด

สารเร่งเวลาการก่อตัว ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารเคมี ดังนี้

- (1) Calcium Chloride
- (2) Calcium Formate
- (3) Calcium Nitrate

คลอไรด์ เป็นสารเคมีที่ถูกนำมาใช้เร่งการก่อตัวของคอนกรีตอย่างกว้างขวางด้วยเหตุผลที่สำคัญ 2 ประการ คือ ราคาไม่แพง และหาง่าย ในปัจจุบันได้พบว่าคลอไรด์จะก่อให้เกิดการกัดกร่อนเหล็กเสริมคอนกรีต ดังนั้นจึงนิยมหันมาใช้สารเคมีอื่นที่ไม่มีเกลือคลอไรด์ (Chloride-

Free) ได้แก่ Calcium Formate และล่าสุดได้มีการพัฒนาสารเร่งการก่อตัวที่มีสารเคมีหลักคือ Calcium Nitrate ขึ้นใช้อย่างแพร่หลาย

สารเร่งเวลาการก่อตัวของคอนกรีต จะทำหน้าที่เสมือนตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalyst) ระหว่างซีเมนต์และน้ำ ผลก็คือจะเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ก่อให้เกิดความร้อนขึ้น และกำลังอัดจะเพิ่มขึ้นในเวลาอันรวดเร็ว

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงาน ได้แก่

- (1) ชนิดและปริมาณการใช้สารเร่งการก่อตัว
- (2) ชนิดของซีเมนต์และสารประกอบ
- (3) อุณหภูมิ

ผลกระทบต่อคอนกรีตสด ประกอบด้วย

- เวลาในการก่อตัวและแข็งตัวจะลดลง แต่ทั้งนี้ต้องมีข้อกำหนดควบคุมไว้ ไม่ให้การก่อตัวเกิดเร็วมากจนไม่สามารถนำคอนกรีตนั้น ๆ ไปใช้งานได้

ผลกระทบต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ประกอบด้วย

- กำลังอัดในช่วงต้นจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่กำลังอัดในระยะยาว (Long Term Strength) ที่อายุมากกว่า 28 วัน จะต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไป
- Calcium Chloride จะเพิ่มทั้ง Drying Shrinkage และ Creep
- Calcium Chloride ที่ใส่ไปเร่งการก่อตัว จะมีผลทำให้ความสามารถทนทานต่อซัลเฟตของคอนกรีตลดลง รวมทั้งยังกระตุ้นให้เกิด Alkali Aggregete Reaction สำหรับในกรณีที่มีมวลรวมมีแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์
- คอนกรีตมีความสามารถทนทานต่อ Erosion และ Abrasion ทุกช่วงอายุมากกว่าคอนกรีตทั่วไป
- คัลเซียมคลอไรด์ จะเร่งการสึกกร่อนของเหล็กเสริมที่ฝังในคอนกรีต จึงจำเป็นที่จะต้องใช้อย่างระมัดระวัง

(4) สารเคมีผสมคอนกรีตชนิดอื่น ๆ ประกอบด้วย

(4.1) สารลดปริมาณน้ำ และยืดเวลาการก่อตัว

เป็นสารผสมเพิ่มที่ใช้มากที่สุด สำหรับงานคอนกรีตในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานคอนกรีตผสมเสร็จ

(4.2) สารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก

มักเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Superplasticizer สารผสมนี้สามารถลดปริมาณน้ำในส่วนผสมได้ถึง 15-30 % ทั้งนี้เนื่องจากประจุไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดการผลัดกัน มีแรงผลัดกันมากกว่าสารผสมเพิ่มประเภทลดน้ำทั่วไป ในปัจจุบันสารผสมเพิ่มประเภทนี้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป เพราะการลดน้ำในปริมาณมากๆ ทำให้อัตราน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ ส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังอัดในช่วงต้นที่สูงมาก ทำให้สามารถถอดแบบและตัดสวด Pre-Stressed ได้ในเวลาอันรวดเร็ว รวมทั้งยังสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมได้ ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

(4.3) สารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก และยืดเวลาการก่อตัว

เป็นสารผสมเพิ่มที่พัฒนาล่าสุด เหมาะสำหรับงานคอนกรีตผสมเสร็จที่ต้องการคอนกรีตที่เหลวมาก ๆ เช่นในงานฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ หรือเสา คาน และชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีเหล็กเสริมจำนวนมาก คอนกรีตที่ใส่สารผสมเพิ่มนี้จะมีค่ายุบตัวมากกว่า 15 ซม. ทำให้สามารถสั่นไหลเข้าไปในทุกซอกทุกมุมของเหล็กเสริมและไม้แบบ โดยไม่ต้องทำการจี้เขย่าคอนกรีตมากนัก คอนกรีตประเภทนี้มีชื่อเรียกทั่วไปว่า Flow Concrete

3.3 การควบคุมคุณภาพกระเบื้องคอนกรีต

ในการควบคุมคุณภาพกระเบื้องหลังคาคอนกรีต จะกล่าวถึงใน 2 ลักษณะ ประกอบด้วย

- (1) คุณลักษณะที่ต้องการ
- (2) การทดสอบคุณภาพ

ในส่วนของคุณลักษณะที่ต้องการของกระเบื้อง ตาม มอก.535/2527 จะประกอบด้วย 4 ส่วนได้แก่

- (1) ลักษณะทั่วไป
- (2) ความต้านทานแรงกดตามขวาง
- (3) การดูดซึมน้ำ
- (4) ความไม่ร้าวซึม

เมื่อตรวจดูแล้ว ผิวของกระเบื้องจะเรียบหรือหยาบก็ได้ แต่ต้องไม่มีรอยแตก รอยนูน รอยเว้า หรือตำหนิอื่นใด ที่เป็นอุปสรรคต่อการมุงหลังคา ยกเว้นรอยบิ่นเล็กน้อยที่อาจเกิดขึ้นในกรรมวิธีการผลิตปกติ หรือจากการเคลื่อนย้ายหรือการขนส่ง ส่วนความต้านทานแรงกดตามขวางของแต่ละแผ่นจะต้องไม่น้อยกว่า 450 นิวตัน และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 580 นิวตัน

กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา และกระเบื้องเสริมประกอบ ต้องมีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ไม่เกินร้อยละ 10 และ ต้องไม่ปรากฏหยดน้ำใต้แผ่นกระเบื้อง

ในส่วนของการทดสอบคุณภาพ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 535-2527 ประกอบด้วย

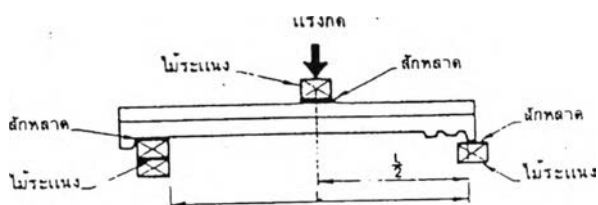
(1) ความต้านทานแรงกดตามขวาง ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

ก. การเตรียมตัวอย่าง

ข. วิธีการทดสอบ

ในการเตรียมตัวอย่าง จะนำกระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคาที่ซัดตัวอย่าง แช่ลงในน้ำ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบแล้ว ให้ยกออก ทดสอบกระเบื้องในภาวะอิมมัตด้วยน้ำทันที

ส่วนวิธีการทดสอบ จะใช้ไม้ระแนงที่เป็นชั้นตรงและมีผิวหน้าเรียบ 2 ชั้น แต่ละชั้นกว้าง 50 มิลลิเมตร หนาไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร วางหนุนไว้ใต้กระเบื้องให้ชิดกับส่วนเกาะระแนงของกระเบื้อง และให้กระเบื้องวางอยู่ในลักษณะที่มุงหลังคาในแนวราบ ปลายของกระเบื้อง จะต้องวางให้อยู่ตรงแนวกึ่งกลางของไม้ระแนงขนาดเดียวกัน สำหรับกระเบื้องที่มีบัวกันน้ำต้องระวังไม่ให้บัวกันน้ำกีดกับไม้ระแนง วางกระเบื้องบนไม้ระแนงทั้งสอง และปรับให้ได้ระดับ แล้วจึงใช้น้ำหนักกดเป็นแนวตลอดความกว้างของแผ่นกระเบื้อง โดยมีไม้ระแนงอีกชั้นหนึ่งรองรับแรงกดที่กึ่งกลาง ให้ขนานกับไม้ระแนงที่รองรับกระเบื้อง ตามรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การทดสอบความต้านทานแรงกดตามขวาง

(2) การดูดซึมน้ำของกระเบื้อง จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

- ก. การเตรียมชิ้นทดสอบ
- ข. วิธีการทดสอบ

ในการเตรียมตัวอย่าง ให้ทำการเตรียมชิ้นทดสอบจากกระเบื้อง 6 แผ่น ที่ผ่านการทดสอบความต้านทานแรงกดตามขวางมาแล้วแผ่นละ 1 ชิ้น มาทดสอบการดูดซึมน้ำ ในขณะที่ชิ้นทดสอบยังอยู่ในภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ แต่ถ้านำกระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา หรือกระเบื้องเสริมประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ได้ผ่านการทดสอบความต้านทานแรงกดตามขวาง ให้นำชิ้นทดสอบเหล่านี้ไปแช่น้ำในที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นมาทดสอบทันทีในภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ มาซับผิวให้แห้งมาทดสอบทันที

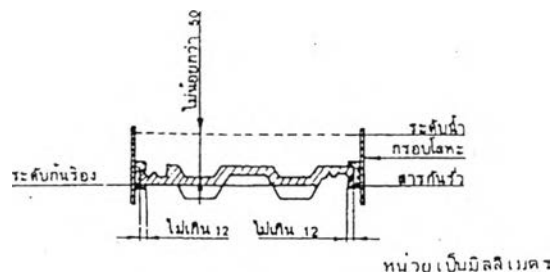
ส่วนวิธีการทดสอบ จะนำชิ้นทดสอบที่อิ่มตัวด้วยน้ำแต่ละชิ้นมาชั่ง แล้วบันทึกน้ำหนักไว้ จากนั้นทำการอบชิ้นทดสอบในตู้อบระบายอากาศ ที่อุณหภูมิ 100 ถึง 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เสร็จแล้วนำออกมา ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่งแล้วบันทึกน้ำหนักไว้

(3) การทดสอบความไม่รั่วซึม จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

- ก. การเตรียมตัวอย่าง
- ข. วิธีการทดสอบ

วิธีเตรียมตัวอย่าง จะนำกระเบื้องตัวอย่างแต่ละแผ่นใส่ในกรอบโลหะ แล้วยาแนวด้วยสารกันรั่ว (sealing compound) เพื่อป้องกันน้ำรั่ว ตามรูป ความกว้างของกรอบโลหะต้องครอบคลุมด้านล่างของแผ่นกระเบื้อง และสูงกว่าส่วนลึกสุดของผิวกระเบื้องด้านบนไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร ต้องระวังไม่ให้สารกันรั่วไปปิดส่วนลึกสุดของผิวด้านบนของร่องน้ำในแผ่นกระเบื้อง และถ้าเป็นกระเบื้องชนิดมีรูตะปู ให้อุดรูตะปูด้วย

ส่วนวิธีการทดสอบ จะนำกระเบื้องที่ใส่ในกรอบแล้ว ไปวางในแนวระดับบนที่รองรับ ต้องระวังไม่ให้ผิวกระเบื้องสัมผัสที่รองรับ โดยที่รองรับต้องสูงพอที่จะตรวจดูผิวล่างได้โดยสะดวก จากนั้นใส่น้ำ และควบคุมระดับให้น้ำสูงกว่าส่วนลึกสุดของผิวกระเบื้องด้านบน 50 มิลลิเมตรตลอดเวลา จนครบ 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การทดสอบความไม่รั่วซึม