

# ประเภทของปูนซีเมนต์ และการประยุกต์ใช้งาน

บทที่

# 4



ก) ปูนซีเมนต์สำหรับงานโครงสร้างและงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีต



ข) ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อ งานฉาบ



ค) ปูนซีเมนต์สำหรับงานพิเศษ

รูปที่ 4-1 ประเภทของปูนซีเมนต์

## บทคัดย่อ

นอกจากคุณภาพของปูนซีเมนต์ที่ดีและได้มาตรฐานแล้ว การเลือกประเภทของปูนซีเมนต์ให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานนั้นถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญเช่นกัน เพราะจะช่วยประหยัดทั้งค่าใช้จ่าย ระยะเวลา และการป้องกันปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นตามมาเนื่องจากการใช้งานปูนซีเมนต์ไม่ถูกประเภทได้

ในบทนี้ ได้จำแนกประเภทของปูนซีเมนต์ตามลักษณะการใช้งาน ออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่

1. ปูนซีเมนต์สำหรับงานโครงสร้างและงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีต เช่น ปูนตราช้าง, ปูนตราช้างรับกำลังอัดเร็ว, ปูนตราช้างทนอัลเฟตสูง, ปูนตราช้างทนน้ำเค็ม ดินเค็ม, และปูนตราช้างงานหล่อ เป็นต้น
2. ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อ งานฉาบ เช่น ปูนตราเสือ, ปูนตราแรด, และปูนตราเสือพลัง เป็นต้น
3. ปูนซีเมนต์สำหรับงานพิเศษ เช่น ปูนตราช้างชุดเจาะน้ำมัน, ปูนซีเมนต์ขาวตราช้างเผือก, และปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ เป็นต้น

โดยการอ้างอิงจากมาตรฐานต่าง ๆ ทั้งของไทย, สหรัฐอเมริกา, และกลุ่มประเทศในสหภาพยุโรป เพื่อให้สามารถเลือกใช้ประเภทของปูนซีเมนต์ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน และก่อให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด



## 4.1 บทนำ

นอกจากคุณภาพของปูนซีเมนต์ที่ดีและได้มาตรฐานแล้ว การเลือกประเภทของปูนซีเมนต์ให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานนั้น ถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญเช่นกัน เพราะจะช่วยประหยัดทั้งค่าใช้จ่าย ระยะเวลา และการป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นตามมาเนื่องจากการใช้งานปูนซีเมนต์ไม่ถูกประเภทได้

ดังนั้น บทนี้จะขอกล่าวถึงการจำแนกประเภทของปูนซีเมนต์ตามลักษณะการใช้งาน เช่น งานโครงสร้างคอนกรีต, งานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีต, งานก่ออิฐ, งานฉาบปูน, และงานอื่น ๆ ที่ต้องการปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติพิเศษโดยเฉพาะโดยการอ้างอิงจากมาตรฐานต่าง ๆ ทั้งของไทย, สหรัฐอเมริกา, และกลุ่มประเทศในสหภาพยุโรป เช่น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือ มอก. 15, ASTM C 150, และ EN 197-1 เป็นต้น เพื่อให้สามารถเลือกใช้ประเภทของปูนซีเมนต์ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน และก่อให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด



รูปที่ 4-2 ตัวอย่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือ มอก. 15 เล่ม 1

## 4.2 คำนิยาม

**ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement)** หมายถึง ปูนซีเมนต์ที่สามารถก่อตัวและแข็งตัว เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับน้ำ โดยจะเรียกปฏิกิริยานี้ว่า “ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration)”

**ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)** หมายถึง ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ได้จากการบดปูนเม็ด (Clinker) ที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ ไฮดรอกซิลแคลเซียมซิลิเกต (Hydraulic Calcium Silicate) กับสารหน่วงการก่อตัว เช่น ยิปซั่ม (Gypsum) โดยปูนซีเมนต์เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วจะเกิดการก่อตัวและการแข็งตัว

**ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland-Pozzolan Cement)** หมายถึง ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม (Blended Hydraulic Cement) ที่ได้จากการผสมอย่างสม่ำเสมอระหว่างปูนซีเมนต์กับสารปอซโซลานละเอียด โดยการบดปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับสารปอซโซลาน หรือการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับสารปอซโซลานที่บดละเอียด หรือทั้งการบดและการผสมโดยมีปริมาณของสารปอซโซลานอยู่ในช่วงจำกัดตามที่กำหนดไว้

**สารปอซโซลาน (Pozzolan)** หมายถึง วัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ เป็นซิลิกา (Silica) หรือซิลิกาและอลูมินา (Alumina) มีคุณสมบัติในการยึดประสานเล็กน้อย หรือไม่มีเลย แต่เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide) ที่อุณหภูมิปกติ และเมื่อมีความชื้นแล้วเกิดเป็นสารประกอบซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดประสาน ได้แก่ เถ้าลอย (Fly Ash)

**Ground Granulated Blast-furnace Slag (GGBS)** หมายถึง Granulated Blast-furnace Slag บดละเอียด ซึ่งเป็นผลพลอยได้ (By-product) จากกระบวนการผลิตเหล็ก แล้วผ่านการทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4-3 ลักษณะของปูนซีเมนต์



รูปที่ 4-4 ลักษณะของสารปอซโซลาน (Pozzolan) เช่น เถ้าลอย (Fly Ash)



รูปที่ 4-5 ลักษณะของ Ground Granulated Blast-furnace Slag (GGBS)

ปูนไฮดรอลิก (Hydraulic Lime) หมายถึง ปูนที่มีซิลิกา (Silica), อลูมินา (Alumina), และ/หรือ โอไรออนออกไซด์ (Iron Oxide) ในปริมาณน้อย ซึ่งเมื่อรวมกันกับ คัลเซียมออกไซด์บางส่วนในปูนไฮดรอลิกเป็นสารประกอบเคมี โดยปูนไฮดรอลิกรวมกับน้ำจะมีคุณสมบัติก่อตัวและแข็งตัว

### 4.3 การจำแนกประเภทของปูนซีเมนต์

ในบทนี้ ได้จำแนกประเภทของปูนซีเมนต์ตามลักษณะการใช้งาน ออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่

1. ปูนซีเมนต์สำหรับงานโครงสร้างและงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีต เช่น *ปูนตราช้าง, ปูนตราช้างรับกำลังอัดเร็ว, ปูนตราช้างทนซัลเฟตสูง, ปูนตราช้างทนน้ำเค็ม ดินเค็ม, และปูนตราช้างงานหล่อ* เป็นต้น
  2. ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อ งานฉาบ เช่น *ปูนตราเสือ, ปูนตราแรด, และปูนตราเสือพลัส* เป็นต้น
  3. ปูนซีเมนต์สำหรับงานพิเศษ เช่น *ปูนตราช้างชุดเจาะน้ำมัน, ปูนซีเมนต์ชาวตราช้างเผือก, และปูนซีเมนต์ชาวตราเสือ* เป็นต้น
- ดังแสดงใน *รูปที่ 4-6*

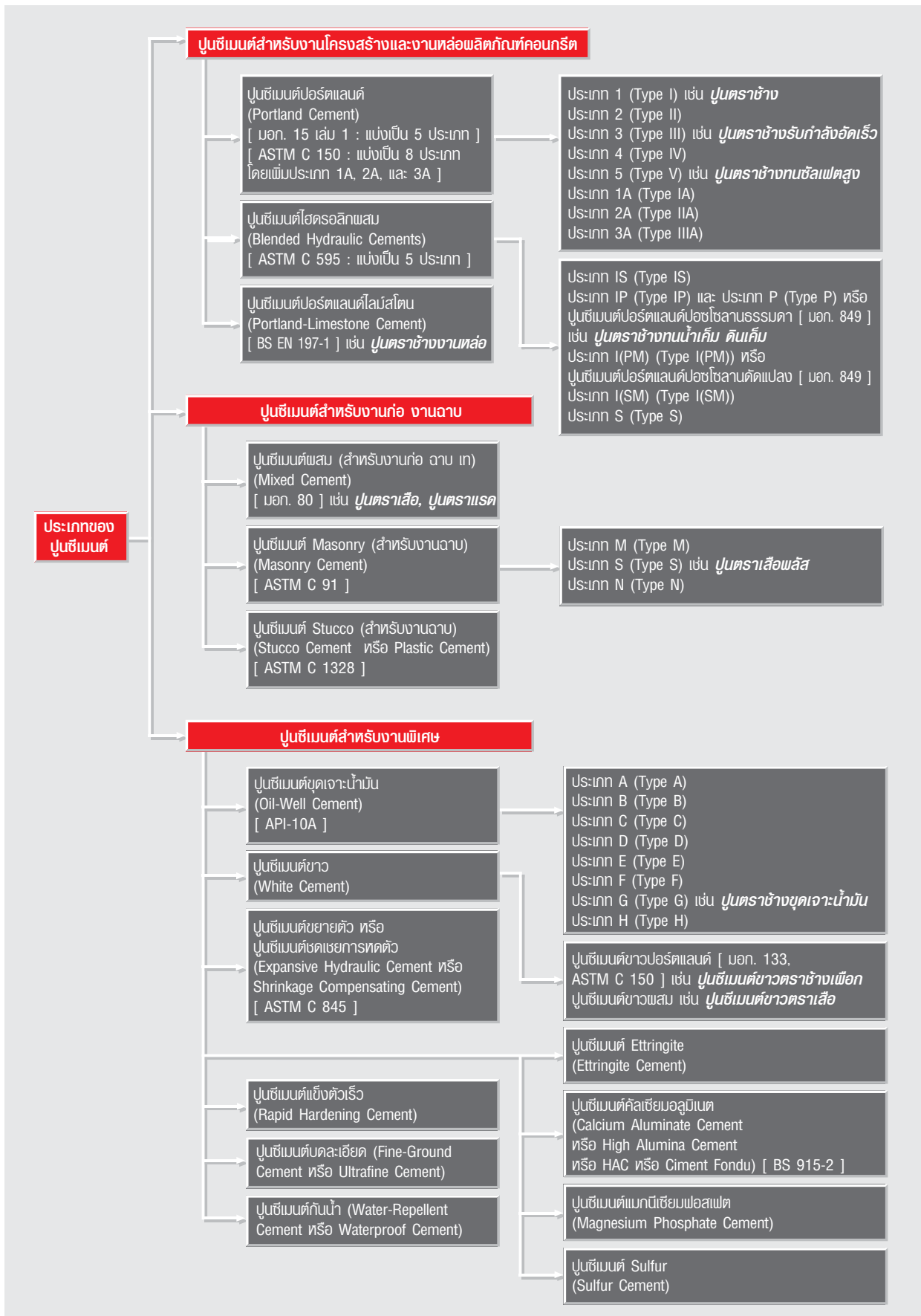
### 4.4 ปูนซีเมนต์สำหรับงานโครงสร้างและงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีต

#### 4.4.1 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland Cement)

มาตรฐานปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ของไทย คือ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ หรือ มอก. 15 เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ ได้แบ่งปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภทด้วยกัน ได้แก่

1. ประเภท 1 : ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา
2. ประเภท 2 : ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ดัดแปลง
3. ประเภท 3 : ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดสูงเร็ว
4. ประเภท 4 : ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ
5. ประเภท 5 : ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตสูง

มาตรฐานปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ของสหรัฐอเมริกา คือ ASTM C 150 ได้แบ่งปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ออกเป็น 8 ประเภท ซึ่งนอกจากจะประกอบด้วยปูนซีเมนต์ทั้ง 5 ประเภทข้างต้นแล้ว ยังมีประเภทกระจายกักฟองอากาศอีก 3 ประเภท ได้แก่ ประเภท 1A, ประเภท 2A, และประเภท 3A



รูปที่ 4-6 แผนภาพแสดงการจำแนกประเภทของปูนซีเมนต์

ส่วนมาตรฐานปูนซีเมนต์โดยทั่วไปของกลุ่มประเทศในสหภาพยุโรปนั้น คือ EN 197-1 โดยได้แบ่งปูนซีเมนต์ออกเป็น 5 ประเภทหลักด้วยกัน ได้แก่

1. ประเภท CEM I : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)
2. ประเภท CEM II : Portland-Composite Cement
3. ประเภท CEM III : Blastfurnace Cement
4. ประเภท CEM IV : Pozzolan Cement
5. ประเภท CEM V : Composite Cement

แต่ในหัวข้อนี้ ได้อ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1 เป็นหลัก และได้เพิ่มประเภทกระจายกักฟองอากาศอีก 3 ประเภท ตามมาตรฐาน ASTM C 150 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งาน
<b>1. ประเภท 1 (Type I)</b> ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เช่น <i>ปูนตราช้าง</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่นิยมใช้มากที่สุดในประเทศไทย</li> <li>• เป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้าง ทำคอนกรีต หรือทำผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ</li> <li>• เหมาะสำหรับงานคอนกรีตโดยทั่วไป เช่น อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก, พื้นอาคาร, ถนน, สะพาน, กำแพงกั้นน้ำ, อ่างเก็บน้ำ, ท่อน้ำ, และผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น</li> <li>• นอกจากนี้ ยังเหมาะสำหรับโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น สะพานขนาดใหญ่, สนามกีฬา, และอาคารสูง เป็นต้น</li> </ul>



รูปที่ 4-7 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เช่น *ปูนตราช้าง*



ก) อาคารโดยทั่วไป



ข) ถนน



ค) สะพาน



ง) สนามกีฬา



จ) อาคารสูง

รูปที่ 4-8 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตโดยทั่วไป และงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง

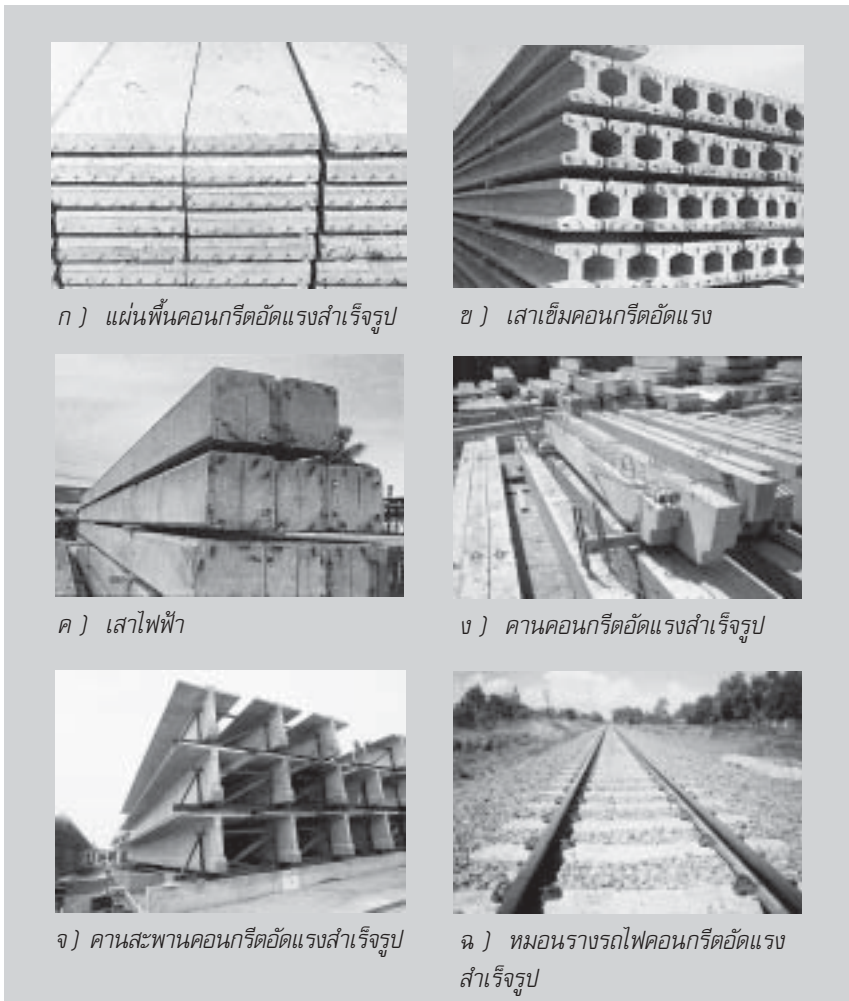


รูปที่ 4-9 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง เหมาะสำหรับงานโครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับดินหรือน้ำที่มีซัลเฟตปานกลาง หรือโครงสร้างที่มีความหนามาก เช่น ฐานรากขนาดใหญ่



รูปที่ 4-10 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดสูงเร็ว เช่น ปุนตรา ช้างรับกำลังอัดเร็ว

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งาน
<p><b>2. ประเภท 2 (Type II)</b> ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) ทนซัลเฟตได้ปานกลาง หรือเกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮดรชันปานกลาง (Moderate Sulfate Resistance or Moderate Heat of Hydration)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• เป็นปูนซีเมนต์ที่เกิดความร้อนน้อยกว่าประเภท 1 และทนซัลเฟตปานกลางได้</li> <li>• เหมาะสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องสัมผัสกับดินหรือน้ำที่มีความเข้มข้นของซัลเฟตสูงกว่าปกติ แต่ไม่ถึงระดับรุนแรง</li> <li>• มีคุณสมบัติทนทานต่อซัลเฟตได้ เพราะมีปริมาณไตรซิลิเคียมอลูมิเนต (C<sub>3</sub>A) ในปูนซีเมนต์ ไม่เกิน 8%</li> <li>• ซัลเฟตในดินหรือน้ำอาจเข้าไปในเนื้อคอนกรีตและทำปฏิกิริยากับไตรซิลิเคียมอลูมิเนต (C<sub>3</sub>A) ก่อให้เกิดการขยายตัว เกิดสะเก็ด (Scaling) และแตกร้าวในที่สุด นอกจากนี้ เกลือซัลเฟต เช่น แมกนีเซียมซัลเฟต ยังทำให้คอนกรีตมีกำลังลดลงด้วย เพราะสามารถทำลายซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (CSH) ได้</li> <li>• ถ้ามีปริมาณเกลือซัลเฟตสูงๆ เช่น งานก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย หรือโครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับน้ำเสียโดยตรง เป็นต้น ควรใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5 มากกว่า เพราะมี (C<sub>3</sub>A) ต่ำกว่า</li> <li>• ต้องใช้ร่วมกับส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่ำๆ เพื่อทำให้อุณหภูมิคอนกรีตที่ขึ้น (ลดการซึมผ่าน) และสามารถลดความเสียหายที่เกิดจากซัลเฟตได้</li> <li>• นอกจากนี้ ยังใช้ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ในงานโครงสร้างที่มีความหนาแน่นมาก เช่น ตอม่อขนาดใหญ่, ฐานรากขนาดใหญ่, และกำแพงกันดินที่หนาแน่นๆ เป็นต้น เพราะเป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮดรชันในระดับปานกลาง และอัตราการเกิดความร้อนจะช้ากว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 จึงสามารถลดโอกาสเกิดการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน (Thermal Cracking) ได้</li> </ul>
<p><b>3. ประเภท 3 (Type III)</b> ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดสูงเร็ว (High Early Strength Portland Cement) เช่น ปุนตราช้างรับกำลังอัดเร็ว</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังอัดสูงในระยะแรก เพราะปูนซีเมนต์มีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1</li> <li>• เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการใช้งานเร็ว หรือถอดแบบในเวลาอันสั้น มักใช้ในงานหล่อผลิตถังคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปชนิดต่างๆ เช่น แผ่นพื้นอัดแรง, เสาเข็มอัดแรง, เสาไฟฟ้า, เสาและคานสำเร็จรูปสำหรับงานอาคาร, คานสะพานสำเร็จรูป, และท่อนรางรถไฟ เป็นต้น</li> <li>• ไม่ควรใช้ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ในงานโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่ เพราะความร้อนจากปฏิกิริยาไฮดรชันจะเกิดสูงมากในช่วงต้น อาจทำให้โครงสร้างนั้นเกิดการแตกร้าวได้</li> </ul>



รูปที่ 4-11 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทให้กำลังอัดสูงเร็ว เหมาะสำหรับงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป

ประเภทของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์	คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งาน
<p><b>4. ประเภท 4 (Type IV)</b> ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement) เกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮดรชันต่ำ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ปริมาณและอัตราความร้อนจากปฏิกิริยาไฮดรชันต่ำ โดยเกิดความร้อนน้อยกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 2 และมีการพัฒนากำลังอัดสูงกว่าปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆ</li> <li>• เหมาะสำหรับงานคอนกรีตมวล (Mass Concrete) เช่น เขื่อน เป็นต้น เนื่องจากทำให้อุณหภูมิของคอนกรีตขณะก่อตัวต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นๆ ซึ่งเป็นการลดปัญหาความเสี่ยงจากการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน (Thermal Cracking)</li> <li>• ในประเทศไทยไม่มีการผลิตปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ปัจจุบันมีการใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 ผสมกับสารปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นต้น ซึ่งสามารถช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นได้</li> </ul>



รูปที่ 4-12 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทเกิดความร้อนต่ำ เหมาะสำหรับงานคอนกรีตมวล เช่น เขื่อน เป็นต้น



รูปที่ 4-13 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตสูง เช่น ปูนตราช้างทนซัลเฟตสูง



รูปที่ 4-14 ผิวคอนกรีตเสียหายเนื่องจากการกระทำของซัลเฟต



ก) บ่อบำบัดน้ำเสีย



ข) โครงสร้างสะพานที่สัมผัสน้ำที่มีซัลเฟตสูง



ค) โครงสร้างใต้ดินที่สัมผัสดินที่มีซัลเฟตสูง 7

รูปที่ 4-15 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตสูง เหมาะสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องสัมผัสดินหรือน้ำที่มีซัลเฟตสูง

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์		คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งาน
5. ประเภท 5 (Type V)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภททนซัลเฟตสูง (Sulphate Resistance Portland Cement) เช่น ปูนตราช้างทนซัลเฟตสูง	<ul style="list-style-type: none"> <li>ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ มีค่า (C<sub>3</sub>A) ไม่เกิน 5% เพื่อป้องกันไม่ให้อิทธิพลจากภายนอกเข้ามาทำลายเนื้อคอนกรีต และให้กำลังต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1</li> <li>เหมาะสำหรับงานโครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับเกลือซัลเฟตอย่างรุนแรง จากดินหรือน้ำที่มีปริมาณซัลเฟตสูง เช่น งานก่อสร้างบ่อน้ำบาดาลเสีย, โครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับน้ำเสียโดยตรง, และโครงสร้างใต้ดิน เป็นต้น</li> <li>ต้องใช้ร่วมกับส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่ำๆ เพื่อทำให้น้ำคอนกรีตที่แข็งตัวและสามารถลดความเสียหายที่เกิดจากซัลเฟตได้</li> <li>ไม่สามารถต้านทานต่อกรดและสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรงได้ เช่นเดียวกับกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทอื่นๆ</li> </ul>
6. ประเภท 1A (Type IA)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทกระจายฟองอากาศ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทกระจายฟองอากาศ ประเภท 1A, ประเภท 2A, และประเภท 3A มีองค์ประกอบต่างๆ คล้ายกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1, ประเภท 2, และประเภท 3 ตามลำดับ ยกเว้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ จะมีการเติมสารกระจายฟองอากาศในปริมาณเล็กน้อยในระหว่างการบดปูนเม็ดในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์</li> <li>ช่วยทำให้คอนกรีตมีความทนทานต่อการแข็งตัวและการละลายของน้ำ (Freezing and Thawing) ได้ เนื่องจากในเนื้อคอนกรีตมีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ทั่วไป จึงช่วยป้องกันการแตกร้าวอันมีสาเหตุมาจากปริมาตรที่เพิ่มขึ้นของน้ำที่กลายเป็นน้ำแข็ง ทำให้เกิดแรงดันภายในเนื้อคอนกรีต จนเกิดการแตกร้าวขึ้นในที่สุด</li> <li>เหมาะสำหรับงานโครงสร้างในสภาพภูมิอากาศหนาวเย็น แต่อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่ มักนิยมใช้คอนกรีตผสมสารกระจายฟองอากาศ เพื่อเพิ่มปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตมากกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ประเภทกระจายฟองอากาศนี้</li> </ul>
7. ประเภท 2A (Type IIA)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทกระจายฟองอากาศ	
8. ประเภท 3A (Type IIIA)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทกระจายฟองอากาศ	



คุณสมบัติทางเคมี	ประเภท				
	1	2	3	4	5
1. ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO <sub>2</sub> ), ต่ำสุด, %	---	20.0	---	---	---
2. อลูมิเนียมออกไซด์ (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), สูงสุด, %	---	6.0	---	---	---
3. โอรธอน (III) ออกไซด์ (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), สูงสุด, %	---	6.0	---	6.5	---
4. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO), สูงสุด, %	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
5. ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO <sub>3</sub> ), สูงสุด, %					
5.1 เมื่อมีไตรแคลเซียมอลูมิเนต 3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ≤ 8%	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
5.2 เมื่อมีไตรแคลเซียมอลูมิเนต 3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , > 8%	3.5	---	4.5	---	---
6. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition), สูงสุด, %	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
7. ภาวที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (Insoluble Residue), สูงสุด, %	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
8. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (3CaO•SiO <sub>2</sub> ), สูงสุด, %	---	---	---	35	---
9. ไดแคลเซียมซิลิเกต (2CaO•SiO <sub>2</sub> ), สูงสุด, %	---	---	---	40	---
10. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), สูงสุด, %	---	8	15	7	5
11. เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์บวกสองเท่า ไตรแคลเซียมอลูมิเนต [4CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> •Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 2(3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )] หรือสารละลายของแข็งของเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์บวกไดแคลเซียมเฟอร์ไรต์ [4CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> •Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 2CaO•Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ] แล้วแต่กรณี, สูงสุด, %	---	---	---	---	25



รูปที่ 4-16 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทกระจายกักฟองอากาศ เหมาะสำหรับงานโครงสร้างในสภาพภูมิอากาศหนาวเย็น เช่น สะพานข้ามทะเลที่มีแผ่นน้ำแข็งไหลผ่าน 8

ตารางที่ 4-1 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางเคมี ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1

คุณสมบัติทางเคมี (ที่อาจเพิ่มเติมได้)	ประเภท				
	1	2	3	4	5
1. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), สูงสุด, % (สำหรับปูนซีเมนต์ที่กันซัลเฟตปานกลางได้)	---	---	8	---	---
2. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), สูงสุด, % (สำหรับปูนซีเมนต์ที่กันซัลเฟตสูงได้)	---	---	5	---	---
3. ไตรแคลเซียมซิลิเกตบวกไตรแคลเซียมอลูมิเนต (3CaO•SiO <sub>2</sub> + 3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), สูงสุด, % (สำหรับปูนซีเมนต์ที่เกิดความร้อนปานกลางจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ)	---	58	---	---	---
4. ด่าง (Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O), สูงสุด, % (สำหรับปูนซีเมนต์ที่มีด่างต่ำ)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

ตารางที่ 4-2 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางเคมีที่อาจเพิ่มเติมได้ ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1



คุณสมบัติทางฟิสิกส์	ประเภท				
	1	2	3	4	5
1. ปริมาณอากาศในมอร์ตาร์ (Air Content of Mortar), สูงสุด, เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	12	12	12	12	12
2. ความละเอียด (Fineness), พื้นผิวจำเพาะ (Specific Surface) (ไทลือกรวัดทดสอบได้), ต่ำสุด, ตารางเซนติเมตรต่อกรัม					
2.1 ทดสอบด้วยวากเนอร์เทอร์บูริมิเตอร์ (Wagner Turbidimeter)	1,600	1,600	---	1,600	1,600
2.2 ทดสอบด้วยเบลนแอร์เพอร์มิอิมิตี (Blaine Air Permeability)	2,800	2,800	---	2,800	2,800
3. ความอยู่ตัว (Soundness), การขยายตัวโดยวิธี อโตคลาฟ (Autoclave Expansion), สูงสุด, %	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
4. แรงอัด (Compressive Strength) ของก้อนลูกบาศก์ มอร์ตาร์ (Mortar Cube) ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 1 ส่วน และทรายมาตรฐานที่ร่อนได้ตามขนาด (Graded Standard Sand) 2.75 ส่วน โดยน้ำหนัก เตรียมและทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 12, ต่ำสุด, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร					
• อายุ 1 วัน	---	---	120	---	---
• อายุ 3 วัน	120	100	240	---	80
• อายุ 7 วัน	190	170	---	70	150
• อายุ 28 วัน	---	---	---	170	210
5. ระยะเวลาการก่อตัว (Time of Setting) (ไทลือกรวัดทดสอบได้)					
5.1 ทดสอบแบบกิลโมร์ (Gillmore Test)					
• การก่อตัวระยะต้น (Initial Set), ต่ำสุด, นาที	60	60	60	60	60
• การก่อตัวระยะปลาย (Final Set), สูงสุด, ชั่วโมง	10	10	10	10	10
5.2 ทดสอบแบบไวเคต (Vicat Test)					
• การก่อตัวระยะต้น (Initial Set), ต่ำสุด, นาที	45	45	45	45	45
• การก่อตัวระยะปลาย (Final Set), สูงสุด, นาที	375	375	375	375	375

ตารางที่ 4-3 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ (ที่อาจเพิ่มเติมได้)	ประเภท				
	1	2	3	4	5
1. การก่อตัวปิดปกติ (False Set), ระยะจมสุดท้าย (Final Penetration), ต่ำสุด, %	50	50	50	50	50
2. ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (Heat of Hydration), สูงสุด, แคลอรีต่อกรัม					
• อายุ 7 วัน	---	70	---	60	---
• อายุ 28 วัน	---	---	---	70	---
3. แรงอัด (Compressive Strength), ต่ำสุด, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร					
• อายุ 28 วัน	280	280	---	---	---
4. การขยายตัวเนื่องจากซัลเฟต (Sulphate Expansion), สูงสุด, %					
• อายุ 14 วัน	---	---	---	---	0.040

ตารางที่ 4-4 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่อาจเพิ่มเติมได้ ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1

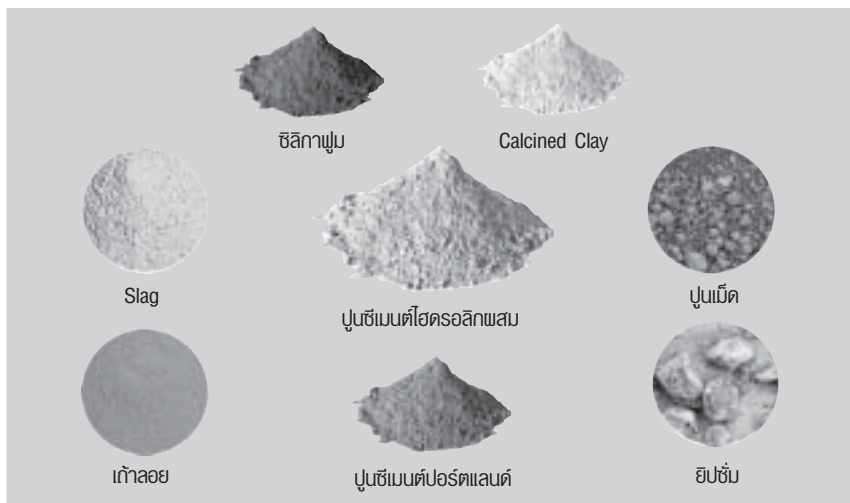
## 4.4.2 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม (Blended Hydraulic Cements)

ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม มีจุดเริ่มต้นของการพัฒนา คือ เพื่อลดพลังงานการผลิตปูนซีเมนต์สำหรับการรองรับการขยายกำลังการผลิตในหลายประเทศทั้งยุโรปและเอเชีย เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้คุณสมบัติที่ดีกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงและความคงทนเพิ่มขึ้น จึงเป็นปูนซีเมนต์ประเภทที่ใช้ในงานในลักษณะเดียวกันกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยสามารถใช้วัสดุเชื่อมประสานเพียงชนิดเดียว หรือใช้ร่วมกับวัสดุเชื่อมประสานหลายชนิด ในคอนกรีตได้อีกด้วย โดยส่วนใหญ่แล้วนิยมใช้ร่วมกับ สารปอซโซลาน (Pozzolan) และ Slag (หรือ GGBS) อาจใช้ในรูปของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม หรือใช้ในรูปของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมร่วมกับสารปอซโซลาน หรือ Slag ในการผสมคอนกรีต

ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม สามารถผลิตโดยการบดปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับวัสดุเชื่อมประสาน หรือการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับวัสดุเชื่อมประสานที่บดละเอียดหรือทั้งการบดและการผสม โดยมีปริมาณของวัสดุเชื่อมประสานอยู่ในช่วงจำกัดตามที่กำหนดไว้ วัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement), Ground Granulated Blast-furnace Slag หรือ GGBS, แก้วลอย (Fly Ash), ซิลิกาฟูม (Silica Fume), Calcined Clay, Hydrated Lime, และสารปอซโซลานชนิดอื่น ๆ เป็นต้น ดังใน รูปที่ 14-17

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน หรือ มอก. 849 ได้แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานธรรมดา (หรือ ประเภท IP และ ประเภท P ตาม ASTM C 595) และ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานดัดแปลง (หรือ ประเภท I(PM) ตาม ASTM C 595)

แต่ในหัวข้อนี้ได้อ้างอิงตามมาตรฐานปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสมของสหรัฐอเมริกา คือ ASTM C 595 ซึ่งได้แบ่งปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสมออกเป็น 5 ประเภทด้วยกัน ได้แก่ ประเภท IS, ประเภท IP และ ประเภท P, ประเภท I(PM), ประเภท I(SM), และประเภท S ดังรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 4-17 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม สามารถผลิตโดยการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หรือปูนเม็ดและยิปซัม มาผสมหรือบดร่วมกับสารปอซโซลาน หรือ Slag (หรือ GGBS)



รูปที่ 4-18 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน เช่น ปูนตราช้างทนน้ำเค็ม ดินเค็ม



ก) ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างในน้ำทะเล



ข) ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างในน้ำกร่อย



ค) ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างในพื้นที่ดินเค็ม

รูปที่ 4-19 ตัวอย่างโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเสียหาย อันมีสาเหตุจากคลอไรด์และซัลเฟต จากน้ำเค็ม ดินเค็ม

ประเภทของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม		คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งาน
1. ประเภท IS (Type IS)	Portland Blast-furnace Slag Cement	<ul style="list-style-type: none"> <li>เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสม GGBS 25 - 70% โดยน้ำหนัก</li> <li>คุณสมบัติของคอนกรีตที่ได้ ในสภาพที่เป็นคอนกรีตสด จะเพิ่มความสามารถในการเข้าแบบได้ง่าย, และลดการเข้มน้ำ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จะเพิ่มกำลังอัดที่ระยะปลาย, เพิ่มความทนน้ำ, ความทนทานต่อซัลเฟต, และโอกาสเกิดปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction หรือ AAR) ชนิดที่เรียกว่าปฏิกิริยาอัลคาไลซิลิกา (Alkali-Silica Reaction หรือ ASR)</li> <li>เหมาะสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตโดยทั่วไป เช่น ถนน, สะพาน, งานเกราะ, และถังกักเก็บน้ำ และงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป เช่น คอนกรีตบล็อก, และท่อระบายน้ำ</li> </ul>
2. ประเภท IP (Type IP) และ ประเภท P (Type P)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland-Pozzolan Cement) เช่น ปูนตราช้างทนน้ำเค็ม ดินเค็ม	<ul style="list-style-type: none"> <li>เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมสารปอซโซลาน (Pozzolan) 15 - 40% โดยน้ำหนัก</li> <li>คุณสมบัติของคอนกรีตที่ได้จะเพิ่มความสามารถในการเข้าแบบได้ง่าย, ลดการเข้มน้ำ, และลดการแยกตัว เพิ่มกำลังอัดที่ระยะปลาย, เพิ่มความทนน้ำ, เพิ่มความคงทนต่อซัลเฟต, ลดการหดตัว, และลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน</li> <li>เหมาะสำหรับงานโครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับคลอไรด์และซัลเฟต ในบริเวณชายฝั่งทะเล, บริเวณน้ำกร่อย, บริเวณพื้นที่ดินเค็ม, และงานโครงสร้างใต้ดินต่างๆ</li> <li>ประเภท P เหมาะกับงานที่ไม่ต้องการรับกำลังอัดระยะต้นเร็ว</li> </ul>



ก) งานคอนกรีตในน้ำทะเล



ข) งานคอนกรีตในน้ำกร่อย



ค) ลักษณะพื้นที่ดินเค็มในภาคอีสาน

รูปที่ 4-20 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน เหมาะสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องสัมผัสกับคลอไรด์และซัลเฟต ในบริเวณชายฝั่งทะเล, บริเวณน้ำกร่อย, บริเวณพื้นที่ดินเค็ม, และงานโครงสร้างใต้ดินต่างๆ

ประเภทของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม		คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งาน
3. ประเภท I(PM) (Type I(PM))	ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ปอซโซลานดัดแปลง (Pozzolan-Modified Portland Cement)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ผสมสารปอซโซลาน (Pozzolan) น้อยกว่า 15% โดยน้ำหนัก</li> <li>• เหมาะสำหรับงานโครงสร้างโดยทั่วไป แต่ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะสูงกว่าของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ปอซโซลาน ประเภท IP เนื่องจากผสมสารปอซโซลานในสัดส่วนที่น้อยกว่า หรือมีสัดส่วนของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์มากกว่า จึงเกิดความร้อนมากกว่า</li> </ul>
4. ประเภท I(SM) (Type I(SM))	Slag-Modified Portland Cement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ผสม GGBS น้อยกว่า 25% โดยน้ำหนัก</li> <li>• เหมาะสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตโดยทั่วไป เช่นเดียวกับประเภท IS</li> </ul>
5. ประเภท S (Type S)	Slag Cement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ผสม GGBS มากกว่า 70% โดยน้ำหนัก</li> <li>• ใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์เพื่อใช้ในงานคอนกรีต และยังสามารถใช้ผสมกับปูนขาว (Hydrated Lime) เพื่อใช้ในงานก่ออิฐผนังได้อีกด้วย</li> </ul>



รูปที่ 4-21 Slag Cement สามารถนำมาใช้ในงานก่ออิฐผนังได้

คุณสมบัติทางเคมี	ประเภท		
	IS, I(SM)	S	IP, P, I(PM)
1. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO), สูงสุด, %	---	---	6.0
2. ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ SO <sub>3</sub> สูงสุด, %	3.0	4.0	4.0
3. ซัลไฟด์ (S), สูงสุด, %	2.0	2.0	---
4. กากที่ไม่ละลายในกรดและต่าง (Insoluble Residue), สูงสุด, %	1.0	1.0	---
5. น้ำหนักที่สูญเสียนเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition), สูงสุด, %	3.0	4.0	5.0
6. Water-Soluble Alkali, สูงสุด, %	---	0.03	---

ตารางที่ 4-5 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางเคมี ของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม ตามมาตรฐาน ASTM C 595



คุณสมบัติทางฟิสิกส์	ประเภท		
	IS, IP, I(PM), I(SM)	S	P
1. ความละเอียด (Fineness)	( 1 )	( 1 )	( 1 )
2. ความอยู่ตัว (Soundness) ทดสอบโดยวิธีออโตคลേฟ (Autoclave), สูงสุด, %			
• การขยายตัว	0.80	0.80	0.80
• การหดตัว	0.20	0.20	0.20
3. ระยะเวลาการก่อตัว			
• การก่อตัวระยะต้น (Initial Set), ต่ำสุด, นาที	45	45	45
• การก่อตัวระยะปลาย (Final Set), สูงสุด, ชั่วโมง	7	7	7
4. ปริมาณอากาศในmortar (Air Content of Mortar), สูงสุด, เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	12	12	12
5. แรงอัด (Compressive Strength), ต่ำสุด, เมกะปาสกาล (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)			
• อายุ 3 วัน	13.0 (1,890)	---	---
• อายุ 7 วัน	20.0 (2,900)	5.0 (720)	11.0 (1,600)
• อายุ 28 วัน	25.0 (3,620)	11.0 (1,600)	21.0 (3,140)
6. ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่าง ปูนซีเมนต์กับน้ำ, สูงสุด, กิโลจูล/กิโลกรัม (แคลอรีต่อกรัม)			
• อายุ 7 วัน	290 (70)	---	250 (60)
• อายุ 28 วัน	330 (80)	---	290 (70)
7. ปริมาณน้ำที่ต้องการ (Water Requirement), สูงสุด, เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปูนซีเมนต์	---	---	64
8. การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage), สูงสุด, %	---	---	0.15
9. การขยายตัวของmortar (Mortar Expansion), สูงสุด, %			
• อายุ 14 วัน	0.020	0.020	0.020
• อายุ 8 สัปดาห์	0.060	0.060	0.060
10. ความทนทานต่อซัลเฟต (Sulphate Resistance), สูงสุด, %			
• การขยายตัวที่อายุ 180 วัน	0.10 <sup>( 2 )</sup>	---	0.10 <sup>( 2 )</sup>

ตารางที่ 4-6 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม ตามมาตรฐาน ASTM C 595

( 1 ) การทดสอบความละเอียดนี้ จะทดสอบและรายงานในกรณีที่ใช้ซีเมนต์ของ

( 2 ) เกณฑ์เพิ่มเติมของความทนทานต่อซัลเฟต ในกรณีที่ผู้ใช้ร้องขอ

## 4.4.3 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ไลม์สโตน (Portland-Limestone Cement)

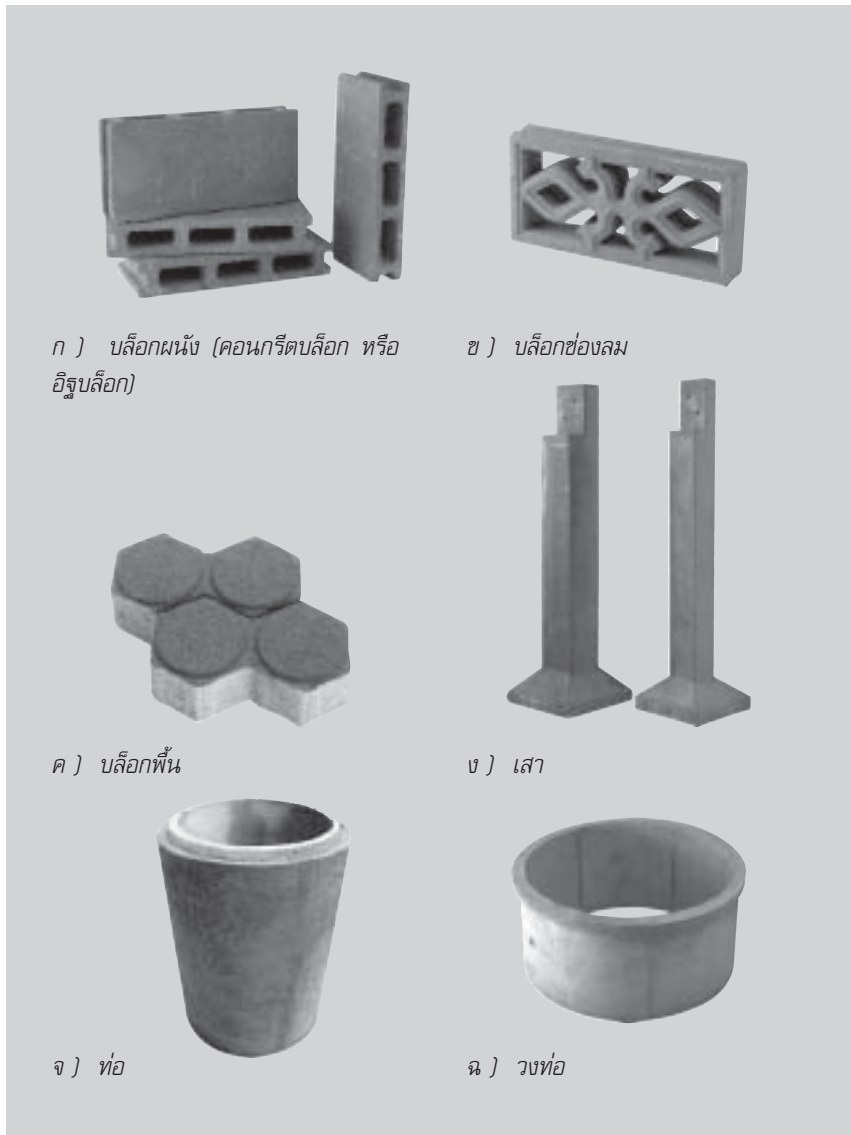
ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ไลม์สโตน เป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพพิเศษ ตามมาตรฐานยุโรป BS EN 197-1 เช่น *ปูนตราช้างงานหล่อ*

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ได้จากการเติมหินปูนในปริมาณที่เหมาะสมในระหว่างการผลิตปูนเม็ดของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

เหมาะสำหรับงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป ชนิดไม่อัดแรง อาทิ บล็อกผนัง, บล็อกช่องลม, บล็อกพื้น, เสา, ท่อ, และวงท่อ เป็นต้น ทั้งนี้เพราะมีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถถอดแบบได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีคุณสมบัติช่วยให้คอนกรีตแห้งตัวได้เร็วขึ้น และขึ้นงานเรียบเนียนสวย เนื่องจากมีเนื้อปูนที่ละเอียด รวมทั้งมีความแข็งแกร่ง ทนทาน ไม่เปราะและลดการแตกหักเสียหายจากการถอดแบบ



รูปที่ 4-22 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ไลม์สโตน เช่น *ปูนตราช้างงานหล่อ*



ก) บล็อกผนัง (คอนกรีตบล็อก หรือ อิฐบล็อก)

ข) บล็อกช่องลม

ค) บล็อกพื้น

ง) เสา

จ) ท่อ

ฉ) วงท่อ

รูปที่ 4-23 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ไลม์สโตน เหมาะสำหรับงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป ชนิดไม่อัดแรง



## 4.5 ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อ งานฉาบ

### 4.5.1 ปูนซีเมนต์ผสม (Mixed Cement)

#### สำหรับงานก่อ ฉาบ เท

ปูนซีเมนต์ผสม ตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ผสม หรือ มอก. 80 เช่น **ปูนตราเสือ**, และ**ปูนตราแรด** เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตโดยการเติมหินปูนประมาณ 25 - 30% ในระหว่างการบดปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

มีคุณสมบัติเหนียวลื่น ยึดเกาะอิฐและผนังได้ดี แห้งตัวพอเหมาะ ไม่ยัดหรือหดตัวมาก ช่วยลดการแตกร้าวที่ผิวผนังได้ และให้กำลังต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

เหมาะสำหรับงานก่ออิฐ, งานฉาบปูน, และงานเทคอนกรีตโครงสร้างขนาดเล็ก (เช่น ตอม่อ เสา คาน ฝ้า ของบ้านชั้นเดียว, ลานวัด เป็นต้น) นอกจากนี้ด้วยคุณสมบัติที่เหนียวลื่น จึงเป็นที่นิยมใช้ในงานปูนปั้น เช่น งานปั้นบัว, ็องซีเมนต์, และอ่างซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ เป็นต้น



รูปที่ 4-24 ปูนซีเมนต์ผสม เช่น ปูนตราเสือ, และปูนตราแรด



ก) งานก่ออิฐ



ข) งานฉาบปูน



ค) งานเทคอนกรีตโครงสร้างขนาดเล็ก



ง) งานปูนปั้น เช่น ็องซีเมนต์

คุณสมบัติทางฟิสิกส์	เกณฑ์ที่กำหนด
1. ความละเอียด (Fineness), พื้นผิวจำเพาะ (Specific Surface), ทดสอบด้วยวิธีแอร์เพอร์มิบิลิตีแบบของเบลู (Air Permeability Test, Blaine), ต่ำสุด, ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	2,800
2. ความอยู่ตัว (Soundness), การขยายตัวโดยวิธีโอโตเคลฟ (Autoclave Expansion), สูงสุด, %	0.6
3. ระยะเวลาการก่อตัว (Time of Setting), ทดสอบแบบไวแคต (Vicat Test) <ul style="list-style-type: none"> <li>• การก่อตัวระยะต้น (Initial Set), ต่ำสุด, นาที</li> </ul>	45
4. ปริมาณอากาศในมอร์ตาร์ (Air Content of Mortar), สูงสุด, เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	12
5. แรงอัด (Compressive Strength) ของก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์ (Mortar Cube), ต่ำสุด, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร <ul style="list-style-type: none"> <li>• อายุ 3 วัน</li> <li>• อายุ 7 วัน</li> </ul>	65 115
6. การก่อตัวผิดปกติ (False set), ระยะจุ่มสุดท้าย (Final Penetration), ต่ำสุด, %	50

ตารางที่ 4-7 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ของปูนซีเมนต์ผสม ตามมาตรฐาน มอก. 80

รูปที่ 4-25 ปูนซีเมนต์ผสม เหมาะสำหรับงานก่ออิฐ, งานฉาบปูน, งานเทคอนกรีตโครงสร้างขนาดเล็ก, และงานปูนปั้น



## 4.5.2 ปูนซีเมนต์ Masonry (Masonry Cement) สำหรับงานฉาบ

ปูนซีเมนต์ Masonry เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 หรือปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม กับ วัสดุเพิ่มความเหนียว (Plasticizing Materials) เช่น หินปูน (Limestone), ปูนขาว (Hydrated Lime) หรือ ปูนไฮดรอลิก (Hydraulic Lime) ร่วมกับสารผสมเพิ่มอื่น ๆ ตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ASTM C 91 ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ประเภท M, ประเภท S, และประเภท N โดยประเภท M จะมีค่ากำลังอัดสูงที่สุด รองลงมา คือ ประเภท S, และประเภท N ตามลำดับ

ตัวอย่างของปูนซีเมนต์ Masonry ประเภท S เช่น **ปูนตราเสือพลัส**

ปูนซีเมนต์ Masonry มีคุณสมบัติพิเศษที่เหมาะสมสำหรับงานฉาบปูนโดยเฉพาะ ดังนี้

1. **ผนังเรียบเนียน** : เนื้อปูนมีความละเอียดสูงมากกว่าปูนซีเมนต์ผสมทั่วไป ทำให้ได้ผนังเรียบเนียนมากกว่า เพราะเนื้อปูนฉาบสามารถแทรกตัวเข้าไปประสานกับเม็ดทรายได้ดี เหนียวและยึดเกาะกับผนังก่ออิฐดีขึ้น เนื้อปูนฉาบจึงร่วงหล่นน้อยเวลาขึ้นปูนฉาบ
2. **เหนียวลื่น ฉาบง่าย** : มี Micro Air Bubble ซึ่งเป็นฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากกระจายอยู่ทั่วส่วนผสม ทำให้เนื้อปูนฉาบลื่น และช่วยให้ฉาบง่าย
3. **ใช้งานได้นาน** : มีสารอุ้มน้ำพิเศษ เนื้อปูนฉาบจึงอุ้มน้ำได้นานขึ้น และคงสภาพอยู่ได้นานกว่า ทำให้ไม่ต้องผสมซ้ำ มีเวลาปรับแต่งผิวหน้าผนังฉาบปูนได้นานขึ้น นอกจากนี้คุณสมบัติของเนื้อปูนฉาบที่อุ้มน้ำได้นี้ยังช่วยลดการสูญเสียน้ำจากการดูดซึมของผนังก่ออิฐ และการระเหยของน้ำจากสภาพอากาศทำให้เนื้อปูนสามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผนังจึงหดตัวน้อย ประสานยึดเกาะกันได้ดี และช่วยลดการแตกร้าว

## 4.5.3 ปูนซีเมนต์ Stucco (Stucco Cement หรือ Plastic Cement) สำหรับงานฉาบ

ปูนซีเมนต์ Stucco เป็นปูนซีเมนต์ตามมาตรฐาน ASTM C 1328 ที่ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 หรือ ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม กับ วัสดุเพิ่มความเหนียว (Plasticizing Materials) เช่น หินปูน (Limestone), ปูนขาว (Hydrated Lime) หรือ ปูนไฮดรอลิก (Hydraulic Lime) ร่วมกับสารผสมเพิ่มอื่น ๆ ที่จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางด้านการก่อตัว, ความสามารถในการไหล, การอุ้มน้ำ, และความทนทาน ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะสำหรับงานฉาบ



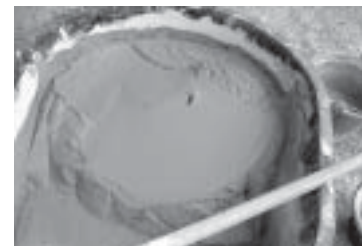
รูปที่ 4-26 ปูนซีเมนต์ Masonry ประเภท S เช่น ปูนตราเสือพลัส



ก) ผนังเรียบเนียน : ได้ผิวผนังฉาบปูนที่เรียบเนียน เพราะเนื้อปูนมีความละเอียดสูง จึงสามารถยึดเกาะกับผนังก่ออิฐได้ดี



ข) เหนียวลื่น ฉาบง่าย : เนื้อปูนฉาบเหนียวลื่น ยึดเกาะดี ไม่ร่วงหล่น จึงช่วยให้ฉาบง่าย ทั้งนี้เพราะมี Micro Air Bubble หรือฟองอากาศขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วส่วนผสม

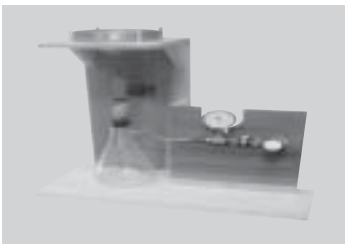


ค) ใช้งานได้นาน : เนื้อปูนฉาบมีคุณสมบัติอุ้มน้ำได้นานขึ้น จึงคงตัวอยู่ได้นาน ไม่ต้องผสมซ้ำ มีเวลาปรับแต่งผิวหน้าผนังฉาบปูนได้นานขึ้น และยังช่วยลดการแตกร้าวได้อีกด้วย

รูปที่ 4-27 คุณสมบัติพิเศษของปูนซีเมนต์ Masonry ที่เหมาะสำหรับงานฉาบปูนโดยเฉพาะ



คุณสมบัติทางฟิสิกส์	ประเภท		
	N	S	M
1. ความละเอียด (Fineness), ส่วนที่ค้างบนตะแกรง 45 ไมครอน (เบอร์ 325), สูงสุด, %	24	24	24
2. ความอยู่ตัว (Soundness), การขยายตัวโดยวิธี ออโตคลาฟ (Autoclave Expansion), สูงสุด, %	1.0	1.0	1.0
3. ระยะเวลาการก่อตัว (Time of Setting), ทดสอบแบบกิลโมร์ (Gillmore Test)			
• การก่อตัวระยะต้น (Initial Set), ต่ำสุด, นาที	120	90	90
• การก่อตัวระยะปลาย (Final Set), สูงสุด, นาที	1,440	1,440	1,440
4. แรงอัด (Compressive Strength), แรงอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์ (Mortar Cube) ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 1 ส่วน และทรายมาตรฐานผสม (Graded Standard Sand และ Standard 20 - 30 Sand อย่างละครึ่ง) 3 ส่วนโดยปริมาตร เตรียมและทดสอบตามวิธีมาตรฐาน, ต่ำสุด, เมกะปาสกาล (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)			
• อายุ 7 วัน	3.4 (500)	9.0 (1,300)	12.4 (1,800)
• อายุ 28 วัน	6.2 (900)	14.5 (2,100)	20.0 (2,900)
5. ปริมาณอากาศในมอร์ตาร์ (Air Content of Mortar)			
• ต่ำสุด, เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	8	8	8
• สูงสุด, เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	21	19	19
6. ค่าการอุ้มน้ำ (Water Retention Value), ต่ำสุด, เปอร์เซ็นต์ของค่าการไหลแม่เบื้องต้น	70	70	70



รูปที่ 4-28 เครื่องมือทดสอบหาค่าการอุ้มน้ำ

ตารางที่ 4-8 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ของปูนซีเมนต์ Masonry ตามมาตรฐาน ASTM C 91

## 4.6 ปูนซีเมนต์สำหรับงานพิเศษ

เนื่องจากการนำปูนซีเมนต์ไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะที่หลากหลาย และปูนซีเมนต์ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปยังมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมกับความต้องการทั้งหมด จึงได้มีการพัฒนาปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษขึ้นมาหลายชนิดด้วยกัน เพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เหมาะสมกับความต้องการใช้งานมากที่สุด แต่ด้วยมีความต้องการใช้งานปูนซีเมนต์สำหรับงานพิเศษแต่ละประเภทในปริมาณน้อย จึงทำให้ปูนซีเมนต์กลุ่มนี้มักมีราคาสูง

### 4.6.1 ปูนซีเมนต์ขุดเจาะน้ำมัน (Oil-Well Cement)

ปูนซีเมนต์ขุดเจาะน้ำมัน โดยทั่วไปจะผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภททนซัลเฟตสูง ผสมกับสารหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน (เฉพาะบางประเภท) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษที่ทนทานต่อซัลเฟตสูง รวมทั้งทนทานต่อต่างและเกลือ มีการก่อตัวช้า และสามารถใช้งานได้ในสภาวะที่มีความกดดันและอุณหภูมิสูง ๆ ที่ระดับความลึกของน้ำทะเลต่าง ๆ คุณสมบัติของปูนซีเมนต์จะต้องสามารถไหลได้ (ความหนืดต่ำ) แข็งตัวได้รวดเร็วภายในเวลาที่กำหนด

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ เหมาะสำหรับงานขุดเจาะบ่อน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ โดยจะผสมปูนประเภทนี้ แล้วบดลงไปใต้ดิน บางทีต้องบดลงไปถึงความลึก 6,000 เมตร หรือมากกว่า และอุณหภูมิสูงถึง 170 °C ซีเมนต์พิเศษนี้ยังต้องเหลวพอที่จะทำงานได้จนถึงประมาณ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะแข็งตัวได้เร็ว

ตัวอย่างปูนซีเมนต์ประเภทนี้ เช่น **ปูนตราช้างขุดเจาะน้ำมัน** (ปูนซีเมนต์ขุดเจาะน้ำมัน ประเภท G)

ตามมาตรฐานปูนซีเมนต์ขุดเจาะน้ำมันของสหรัฐอเมริกา API-10 ได้แบ่งปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ออกเป็น 9 ประเภท ดังต่อไปนี้

ประเภทของปูนซีเมนต์ขุดเจาะน้ำมัน	คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งาน
1. ประเภท A (เทียบเท่ากับปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1)	ใช้งานที่ระดับความลึกจากผิวน้ำทะเล 6,000 ฟุต (1,830 เมตร) เหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ
2. ประเภท B (เทียบเท่ากับปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 2)	ใช้งานที่ระดับความลึกจากผิวน้ำทะเล 6,000 ฟุต (1,830 เมตร) และต้องการความทนทานต่อซัลเฟตในระดับปานกลางและสูง
3. ประเภท C (เทียบเท่ากับปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 3)	ใช้งานที่ระดับความลึกจากผิวน้ำทะเล 6,000 ฟุต (1,830 เมตร) เหมาะสำหรับงานที่ต้องการให้รับกำลังอัดช่วงต้นได้เร็ว มีทั้งที่ทนและไม่ทนซัลเฟต
4. ประเภท D	ใช้งานที่ระดับความลึกจากผิวน้ำทะเล 6,000 ถึง 10,000 ฟุต (1,830 ถึง 3,050 เมตร) และต้องการความทนทานต่อซัลเฟตในระดับปานกลางและสูง ภายใต้อุณหภูมิและความดันปานกลาง
5. ประเภท E	ใช้งานที่ระดับความลึกจากผิวน้ำทะเล 10,000 ถึง 14,000 ฟุต (3,050 ถึง 4,270 เมตร) และต้องการความทนทานต่อซัลเฟตในระดับปานกลางและสูง ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง
6. ประเภท F	ใช้งานที่ระดับความลึกจากผิวน้ำทะเล 10,000 ถึง 16,000 ฟุต (3,050 ถึง 4,880 เมตร) และต้องการความทนทานต่อซัลเฟตในระดับปานกลางและสูง ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงมาก
7. ประเภท G	ใช้งานที่ระดับความลึกจากผิวน้ำทะเล 8,000 ฟุต (2,440 เมตร) และต้องการความทนทานต่อซัลเฟตในระดับปานกลาง (ค่า C <sub>3</sub> S อยู่ในช่วง 48 - 58 %) และสูง (ค่า C <sub>3</sub> S อยู่ในช่วง 48 - 65 %) โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ประเภทนี้ เนื่องจากมีคุณสมบัติครอบคลุมประเภทอื่นๆ อยู่แล้ว และยังช่วยลดการใช้ปูนซีเมนต์หลายประเภทในบ่อขุดเจาะน้ำมันได้
8. ประเภท H	ใช้งานที่ระดับความลึกเดียวกับประเภท G แต่มีความละเอียดน้อยกว่าประเภท G
9. ประเภท J	ใช้งานที่ระดับความลึกจากผิวน้ำทะเล 12,000 ถึง 16,000 ฟุต (3,600 ถึง 4,880 เมตร) ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงมาก ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีส่วนประกอบของ C <sub>2</sub> S และซิลิกาเป็นหลัก



รูปที่ 4-29 ปูนซีเมนต์ขุดเจาะน้ำมันประเภท G เช่น ปูนตราช้างขุดเจาะน้ำมัน



รูปที่ 4-30 งานขุดเจาะน้ำมัน



#### 4.6.2 ปูนซีเมนต์ขาว (White Cement)

ปูนซีเมนต์ขาว เป็นปูนซีเมนต์ที่มีสีขาวย สามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ โดยทั่วไปซึ่งมีสีเทา โดยลักษณะสีขาวนี้ เนื่องมาจากการคัดเลือกวัตถุดิบและการควบคุมกระบวนการผลิต ปูนซีเมนต์ขาวผลิตจากวัตถุดิบที่มีเหล็กออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ อยู่ปริมาณน้อยมาก ๆ เนื่องจากสารประกอบออกไซด์ทั้งสองถ้ามีปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา ดังนั้นถ้าต้องการให้ปูนซีเมนต์มีสีขาวจึงต้องควบคุมให้มี  $C_4AF$  ต่ำ ๆ

โดยทั่วไป ปูนซีเมนต์ขาวจะให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสูงกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 เนื่องจากมี  $C_3A$  และ  $C_3S$  สูงกว่า และมีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 3.05 - 3.10 ซึ่งต่ำกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์โดยทั่วไป ที่มีค่า 3.15 อยู่เล็กน้อย

มีทั้งประเภทปูนซีเมนต์ขาวพอร์ตแลนด์ (White Portland Cement) และประเภทปูนซีเมนต์ขาวผสม (White Mixed Cement) ดังนี้

- **ปูนซีเมนต์ขาวพอร์ตแลนด์**

ปูนซีเมนต์ขาวพอร์ตแลนด์ เป็นปูนซีเมนต์ตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ขาว หรือ มอก. 133 และมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ASTM C 150

ตัวอย่างปูนซีเมนต์ประเภทนี้ เช่น **ปูนซีเมนต์ขาวตราช้างเผือก** (ปูนซีเมนต์ขาวพอร์ตแลนด์ประเภท 1)



รูปที่ 4-31 ปูนซีเมนต์ขาวพอร์ตแลนด์ เช่น ปูนซีเมนต์ขาวตราช้างเผือก

คุณสมบัติที่สำคัญ คือ เนื้อปูนซีเมนต์แน่น ละเอียด มีสีขาวบริสุทธิ์, ระยะเวลาแห้งตัวเหมาะสม, กำลังการยึดเกาะสูง, และมีความแข็งแรง

ปูนซีเมนต์ขาวพอร์ตแลนด์ เป็นปูนซีเมนต์ที่มีความแข็งแรง และด้วยความขาวบริสุทธิ์ของเนื้อปูนที่ผสมสีต่าง ๆ ได้หลากหลาย จึงสามารถนำไปใช้ในงานตกแต่ง ทั้งพื้น ผนัง บ้านและอาคารต่าง ๆ รวมทั้งสามารถสร้างสรรควัสดุ หรือชิ้นงานเพื่อประดับและตกแต่งได้เป็นอย่างดี ได้แก่ เทอร์ราซโซ หรืองานหินขัด, งานหินล้าง/กรวดล้าง/ทรายล้าง, และงานตกแต่งทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่ต้องการความสวยงามและความทนทาน เช่น พื้นี่สาธารณะ, ห้องน้ำ, สระว่ายน้ำ เป็นต้น อีกทั้งยังเป็นส่วนผสมหลักในการผลิตวัสดุใช้สำหรับยาแนว, ปูกระเบื้องเซรามิค หินอ่อน หินแกรนิต, ผลิตแผ่นหินขัดสำเร็จรูป โตะ แก้วีสนาม, และรวมไปถึงงานหล่อคอนกรีตขาวด้วย

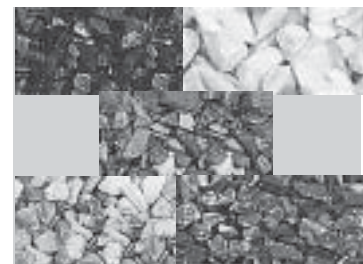
ลักษณะการใช้งานปูนซีเมนต์ขาวพอร์ตแลนด์ อาจแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. **งานเทอร์ราซโซ หรืองานหินขัด (Terrazzo)** คือ การใช้ปูนซีเมนต์ขาวกับหินเกล็ดเป็นวัสดุหลัก เพื่อการสร้างลวดลายและการใส่สีสันทัน โดยการประยุกต์ใช้วัสดุต่าง ๆ เช่น เรซิน, เปลือกหอย มาประดับตกแต่ง จึงเหมาะสำหรับงานแต่งผิว เช่น พื้น, ผนัง, และ Counter Top เป็นต้น

2. งานเทอร์ราซโซมวลละเอียด (Finazzo) เป็นการประยุกต์เทคนิคเทอร์ราซโซโดยใช้หินเกล็ดขนาดเล็กเป็นพิเศษ หรือ **วัสดุผสมปูนซีเมนต์ขาวตราเนเจอร์ไวท์** เหมาะสำหรับงานแต่งผิวเช่นเดียวกับงานเทอร์ราซโซ แต่จะให้ความนุ่มนวลเรียบเนียนยิ่งขึ้น
3. งานแนชเชอร์ลึ ลูค หรืองานหินล้าง/กรวดล้าง/ทรายล้าง (Natural Look) เหมาะสำหรับงานตกแต่งภายนอก เช่น พื้นและผนังภายนอก, กำแพง, รั้วบ้าน, และแผ่นปูทางเท้า เป็นต้น
4. งานหล่อและงานปั้น (Casting and Sculpture) งานตกแต่งทั้งภายในและภายนอกอาคาร, งานรูปปั้น, งานหล่อในที่, งานหล่อวัสดุเพื่องานภูมิสถาปัตยกรรม เช่น โต๊ะ, เก้าอี้สนาม, อ่างน้ำพุ, เคาจน์เคอร์, และอ่างอาบน้ำ เป็นต้น
5. งานคอนกรีตขาว (White Concrete) เหมาะกับงานผนังอุโมงค์ รั้วกันถนนที่ไม่ต้องการทาสี เนื่องจากปูนซีเมนต์ขาวมีอัตราการสะท้อนแสงที่ดีกว่า และยังสามารถพัฒนาเป็นแผ่นผนังสำเร็จรูป คอนกรีตสำเร็จรูปที่สวยงาม และคงทน



รูปที่ 4-32 วัสดุผสมสำหรับงานเทอร์ราซโซมวลละเอียด เช่น วัสดุผสมปูนซีเมนต์ขาวตราเนเจอร์ไวท์



ก) หินเกล็ด



ข) งานเทอร์ราซโซ



ค) งานแนชเชอร์ลึ ลูค เช่น งานกรวดล้าง



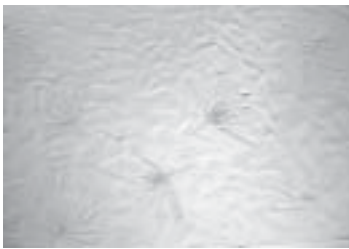
ง) งานหล่อและงานปั้น

จ) งานคอนกรีตขาว

รูปที่ 4-33 ตัวอย่างการใช้งานปูนซีเมนต์ขาวพอร์ตแลนด์



รูปที่ 4-34 ปูนซีเมนต์ขาวผสม เช่น ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ



ก) งานฉาบขาว



ข) งานฉาบสี



ค) งานฉาบสีขัดมัน



ง) งานฉาบผิวทราย

รูปที่ 4-35 ตัวอย่างการใช้งานปูนซีเมนต์ขาวผสม

### ● ปูนซีเมนต์ขาวผสม

ปูนซีเมนต์ขาวผสม เช่น **ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ** มีคุณสมบัติเหนียว นุ่ม ยึดเกาะได้ดี มีระยะเวลาแห้งตัวที่เหมาะสม ยึดหดตัวน้อย จึงช่วยลดการหลุดล่อนและการแตกร้าว อีกทั้งความขาวบริสุทธิ์ของเนื้อปูน เมื่อผสมสีฝุ่นจึงให้สีที่สวยงาม และคงทน

เนื่องจากปูนซีเมนต์ขาวผสมมีอัลคาไลต่ำ ไม่ทำให้เกิดคราบน้ำเหนียวเยิ้มตามแนวรอยต่อกระเบื้อง จึงเหมาะสำหรับงานปูและยาแนววัสดุปูพื้นและบุผนังต่าง ๆ เช่น กระเบื้องเซรามิค, แกรนิต, หินอ่อน, หินกาบ, งานปูนปั้น, และงานหล่อที่ต้องการความสวยงามเป็นพิเศษ

ลักษณะการใช้งานปูนซีเมนต์ขาวผสม อาจแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

#### 1. งานฉาบและตกแต่ง (Plastering)

- 1.1 **งานฉาบขาว (White Plaster)** ด้วยเทคนิคการฉาบด้วยปูนซีเมนต์ขาวผสมทรายคัดพิเศษ จึงสามารถให้สีผนังที่ขาวจากเนื้อวัสดุ โดยที่ไม่ต้องทาสี เหมาะกับงานฉาบผิวที่เป็นคลื่น หรือ Texture ต่าง ๆ
- 1.2 **งานฉาบสี (Color Plaster)** สีสีทนทาน ด้วยเนื้อของสีฝุ่น ทำให้ได้ผนังฉาบสีที่สวยงาม ทนทาน หมดปัญหาเรื่องสีหลุดล่อน หรือสีซีดจาง
- 1.3 **งานฉาบสีขัดมัน (Polished Color Plaster)** ให้ผิวที่เรียบลื่น และสีที่ใส่น้ำหนัก ให้ความสวยงามอย่างเป็นธรรมชาติ
- 1.4 **งานฉาบผิวทราย (Sand Plaster)** ด้วยเทคนิคการล้างผิวหน้าหลังงานฉาบ ทำให้สัมผัสได้ถึงผิวทรายธรรมชาติ เหมาะกับงานตกแต่งที่ต้องการความรู้สึกใกล้ชิดและสัมผัสกับธรรมชาติ

#### 2. งานปูและยาแนวกระเบื้อง (Tile Grouting)

ด้วยคุณสมบัติเด่นด้านความเหนียวนุ่ม ยึดเกาะดี จึงสามารถใช้สำหรับการปูและยาแนววัสดุปูพื้นและบุผนังต่าง ๆ เช่น กระเบื้องเซรามิค, แกรนิต, หินอ่อน, และหินกาบ เป็นต้น ช่วยให้งานมีความประณีต สวยงาม และไม่ก่อให้เกิดปัญหาการหลุดล่อนและการแตกร้าว

คุณสมบัติทางเคมี	เกณฑ์ที่กำหนด
1. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO), สูงสุด, %	5.0
2. ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO <sub>3</sub> ), สูงสุด, %	
2.1 เมื่อมีไตรแคลเซียมอลูมิเนต 3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , < 8%	3.5
2.2 เมื่อมีไตรแคลเซียมอลูมิเนต 3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , > 8%	4.5
3. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition), สูงสุด, %	3.0
4. กากที่ไม่ละลายในกรดและต่าง (Insoluble Residue), สูงสุด, %	0.75

ตารางที่ 4-9 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางเคมี ของปูนซีเมนต์ขาว ตามมาตรฐาน มอก. 133

คุณสมบัติทางฟิสิกส์	เกณฑ์ที่กำหนด
1. ความละเอียด (Fineness), พื้นผิวจำเพาะ (Specific Surface) (ให้เลือกวิธีทดสอบได้)	
1.1 ทดสอบด้วยเทอร์บิดิเมเตอร์ (Turbidimeter Test, Wagner), ค่าต่ำสุดสำหรับตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่ง, ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	1,600
1.2 ทดสอบด้วยแอร์เพอร์มิเอบิลิตี (Air Permeability Test, Blaine), ค่าต่ำสุดสำหรับตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่ง, ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	2,800
2. ความอยู่ตัว (Soundness), การขยายตัวโดยวิธีออโตคลาฟ (Autoclave Expansion), สูงสุด, %	0.80
3. ระยะเวลาการก่อตัว (Time of Setting) (ให้เลือกวิธีทดสอบได้)	
3.1 ทดสอบแบบกิลล์โมร์ (Gillmore Test)	
• การก่อตัวระยะต้น (Initial Set), ต่ำสุด, นาที	60
• การก่อตัวระยะปลาย (Final Set), สูงสุด, ชั่วโมง	10
3.2 ทดสอบแบบไวเคต (Vicat Test)	
• การก่อตัวระยะต้น (Initial Set), ต่ำสุด, นาที	45
• การก่อตัวระยะปลาย (Final Set), สูงสุด, ชั่วโมง	8
4. ปริมาณอากาศในมอร์ตาร์ (Air Content of Mortar), สูงสุด, เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	12.0
5. แรงอัด (Compressive Strength) ของก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์ (Mortar Cube), ต่ำสุด, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร	
• อายุ 3 วัน	85
• อายุ 7 วัน	150
6. การก่อตัวผิดพลาด (False Set), ระยะจมสุดท้าย (Final Penetration), ต่ำสุด, %	50

ตารางที่ 4-10 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ของปูนซีเมนต์ขาว ตามมาตรฐาน มอก. 133



#### 4.6.3 ปูนซีเมนต์ขยายตัว หรือ ปูนซีเมนต์ชดเชยการหดตัว (Expansive Hydraulic Cement หรือ Shrinkage Compensating Cement)



รูปที่ 4-36 ปูนซีเมนต์ขยายตัว เหมาะสำหรับงานเทพื้นคอนกรีตบริเวณกว้าง

ปูนซีเมนต์ขยายตัว เป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกตามมาตรฐาน ASTM C 845 มีคุณสมบัติเกิดการขยายตัวเล็กน้อยในช่วงที่ปูนซีเมนต์เริ่มแข็งตัวหลังจากก่อตัวไปแล้ว ประโยชน์หลัก ๆ ของปูนซีเมนต์ประเภทนี้คือ ช่วยลดการแตกร้าวที่มีสาเหตุมาจากการหดตัว เนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว (Drying Shrinkage Cracking) โดยปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะขยายตัวเพื่อไปชดเชยกับปริมาตรของคอนกรีตที่หดตัว ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเหมาะสำหรับงานบ่อกักเก็บน้ำหรือกากอุตสาหกรรมที่มีรอยต่อไม่มากนัก, และงานเทพื้นคอนกรีตบริเวณกว้าง เป็นต้น

#### 4.6.4 ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็ว (Rapid Hardening Cement)



รูปที่ 4-37 ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็ว เหมาะสำหรับงานซ่อมแซมถนน

ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็ว เป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่สามารถรับแรงช่วงต้น ๆ และแข็งตัวได้ภายในเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการพัฒนาค่ากำลังในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่น งานซ่อมทางเท้า หรือถนน โดยปูนซีเมนต์ประเภทนี้ส่วนใหญ่จะใช้แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต (Calcium Sulfoaluminate) ในการผลิต เนื่องจากเป็นส่วนที่ให้อำนาจกำลังในช่วงต้น ๆ

#### 4.6.5 ปูนซีเมนต์บดละเอียด (Finely-Grained Cement หรือ Ultrafine Cement)

ปูนซีเมนต์บดละเอียด เป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland Cement), Ground Granulated Blast-furnace Slag (GGBS), และแร่ผสมเพิ่มอื่น ๆ นำไปบดอย่างละเอียด โดยปูนซีเมนต์ที่ได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคน้อยกว่า 10 ไมครอน ซึ่งในส่วนนี้จะมีขนาดที่น้อยกว่า 5 ไมครอน อยู่ประมาณ 50% ส่วนใหญ่ความละเอียดมีค่ามากกว่า 8,000 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะสำหรับงานเกราด์ (Grouting)

#### 4.6.6 ปูนซีเมนต์กันซึม (Water-Repellent Cement หรือ Waterproof Cement)



รูปที่ 4-38 ปูนซีเมนต์กันซึม เหมาะสำหรับงานปูและยาแนวกระเบื้อง

ปูนซีเมนต์กันซึม โดยปกติจะมีการเติมสารจำพวก Stearate ของโซเดียม, อลูมิเนียม, หรืออื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อยในระหว่างกระบวนการบดปูนซีเมนต์ โดยสารดังกล่าวจะไปช่วยลดการซึมผ่านของน้ำตามคัปิลลารี ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะสำหรับงานปูและยาแนวกระเบื้อง (Tile Grouting) และงานฉาบผิวหน้า (Stucco Finish Coating)



## 4.6.7 ปูนซีเมนต์ Ettringite (Ettringite Cement)

ปูนซีเมนต์ Ettringite เป็นปูนซีเมนต์คัลเซียมซัลโฟลูมิเนต (Calcium Sulfoaluminate) ที่มีความพิเศษเฉพาะ ใช้ในงานที่ต้องการการก่อตัวเร็ว รวมถึงงานในเหมืองถ่านหิน และการทำให้กากของเสีย (Waste Materials) คงสภาพ (Stabilization) นอกจากนี้ยังสามารถคงสภาพไอออนของโลหะ (Metallic Ions) ได้ ถ้ามีปริมาณ Ettringite ในปูนซีเมนต์มากพอ

## 4.6.8 ปูนซีเมนต์คัลเซียมอลูมิเนต (Calcium Aluminate Cement หรือ High Alumina Cement หรือ HAC หรือ Ciment Fondu)

ปูนซีเมนต์คัลเซียมอลูมิเนต หรือ HAC ตามมาตรฐาน BS 915-2 เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นใช้ครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศส เพื่อทนทานต่อซัลเฟต แต่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในงานที่ต้องการกำลังอัดอันรวดเร็ว HAC ได้จากการเผาส่วนผสมของหินปูน และ Bauxite (Aluminum Ore) ซึ่งก็คือ อลูมิเนียม ที่อุณหภูมิ 1,600 องศา จากนั้นนำมาบด ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ มีปริมาณ  $Al_2O_3$  มากกว่า 32% และสัดส่วนของ  $Al_2O_3$  ต่อ CaO อยู่ในช่วง 0.85 - 1.30 สารประกอบของ HAC นี้จะแตกต่างอย่างมากจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป รวมทั้งสีของ HAC ก็จะมีเข้มกว่า เนื่องจากมีปริมาณสารประกอบของเหล็กอยู่ปริมาณมาก HAC บางทีก็เรียกว่า "Ciment Fondu" ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ มีราคาแพงกว่าปูนซีเมนต์ทั่วไปมาก ดังนั้นจึงควรเลือกใช้เฉพาะในกรณีที่จำเป็นเท่านั้น

คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ จะพัฒนากำลังภายใน 1 วัน หลังจากก่อตัวระยะปลาย (Final Set) เท่ากับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เมื่ออายุ 28 วัน ส่งผลให้ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสูงตามไปด้วย แต่การก่อตัวระยะต้น (Initial Set) จะช้ากว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยเฉลี่ยจะก่อตัวอยู่ระหว่าง 2 - 4 ชั่วโมง และการก่อตัวระยะปลายจะใช้เวลาประมาณ 30 นาทีหลังจากนั้น คุณสมบัติของปูนซีเมนต์สามารถทนทานต่อซัลเฟต, กรดอ่อน ๆ, น้ำทะเล, และสภาวะอุณหภูมิสูงหรือต่ำ

HAC เหมาะสำหรับงานลักษณะดังต่อไปนี้

1. งานซ่อมคอนกรีตที่มีเวลาจำกัด เช่น งานซ่อมท่อและรางระบายน้ำ, งานซ่อมพื้นสนามบิน
2. งานคอนกรีตที่ต้องใช้งานในสภาวะอุณหภูมิที่สูงมาก ถึง  $1,370^{\circ}C$  เช่น ผนังห้องเตาอบ, ทำอิฐทนไฟ
3. งานคอนกรีตที่ต้องใช้งานในสภาวะอุณหภูมิต่ำมาก ถึง  $-40^{\circ}C$  เช่น พื้นห้องเย็น เนื่องจากการเกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สูง จึงช่วยป้องกันการเกิดการแข็งตัวของน้ำจนเป็นน้ำแข็ง



รูปที่ 4-39 ปูนซีเมนต์คัลเซียมอลูมิเนต เหมาะสำหรับงานที่ต้องสัมผัสกับความร้อน เช่น มอเตอร์าร์ทนไฟ



#### 4. งานคอนกรีตที่ต้องสัมผัสกับสารเคมี

โดยปกติจะใช้กับงานที่ไม่ใช่งานโครงสร้าง เนื่องจากคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์นี้ เมื่อใช้ไปนาน ๆ โดยเฉพาะในสภาพอากาศร้อนชื้นจะเกิดการเปลี่ยนรูปของ  $CAH_10$  ให้กลายเป็น  $C_3AH_6$ ,  $AH_3$ , และน้ำ ทำให้เนื้อคอนกรีตพรุนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านได้ของน้ำเพิ่มขึ้น และค่ากำลังลดลง จนเกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง การใช้งานต้องใช้ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ไม่เกิน 0.40 แต่ถ้าจะนำไปใช้กับงานโครงสร้างจะต้องใช้อย่างระมัดระวัง การใช้ปูนซีเมนต์นี้ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะต้องอยู่ภายใต้การควบคุม มิฉะนั้นอาจเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว (Flash Set) ได้

#### 4.6.9 ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมฟอสเฟต (Magnesium Phosphate Cement)

ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมฟอสเฟต หรือที่รู้จักทางการค้า คือ “Set 45” เป็นปูนซีเมนต์ก่อตัวเร็วและให้กำลังอัดสูงมากภายในเวลา 45 นาที เหมาะสำหรับงานซ่อมแซมคอนกรีตต่าง ๆ เช่น พื้นสนามบิน, งานโครงสร้าง, และงานที่ต้องการความทนทานต่อสารเคมี

#### 4.6.10 ปูนซีเมนต์ Sulfur (Sulfur Cement)

ปูนซีเมนต์ Sulfur เป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับมวลรวมทั่ว ๆ ไป (Conventional Aggregate) เพื่อผลิตคอนกรีตสำหรับงานซ่อมแซมและงานที่ต้องการความทนทานต่อสารเคมี โดยปูนซีเมนต์นี้จะหลอมที่อุณหภูมิในช่วง  $113 - 121$  °C ดังนั้นคอนกรีตที่ผลิตจะต้องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ประมาณ  $130$  °C ในระหว่างการผสมและการเท คอนกรีตจะพัฒนากำลังได้เร็วในขณะที่เย็นตัว และสามารถทนทานต่อสารเคมี ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ไม่จัดว่าเป็นปอร์ตแลนด์หรือไฮดรอลิกซีเมนต์

## มาตรฐานอ้างอิง

- มอก. 213-2520 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ
- มอก. 15 เล่ม 1-2547 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ
- มอก. 15 เล่ม 12-2532 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 12 วิธีทดสอบความต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก
- มอก. 80-2517 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ผสม
- มอก. 133-2518 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ขาว
- มอก. 849-2532 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน
- มอก. 850-2532 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปอซโซลาน
- API-10A : Specification for Cements and Materials for Well Cementing
- ASTM C 91-03 : Specification for Masonry Cement
- ASTM C 595-02 : Specification for Blended Hydraulic Cements
- ASTM C 845-96 : Specification for Expansive Hydraulic Cement
- ASTM C 1328-00 : Specification for Plastic (Stucco) Cement
- BS 915-2 : 1972 : Specification for High Alumina Cement
- BS EN 197-1 : 2000 : Cement---Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements

## เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุต, “คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 ซีเมนต์สาร, “การเลือกใช้ปูนซีเมนต์ให้เหมาะสม”, สำนักงานเลขาธิการกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์, 2544.
- 3 รศ.ดร.พิภพ สุนทรสมัย, “วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.
- 4 เอกสารวิชาการของ บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, 2547.
- 5 เอกสารวิชาการของคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2545.
- 6 เอกสารวิชาการของ บริษัทสยามปูนซีเมนต์ขาว จำกัด, 2547.
- 7 Concrete Information, “Design and Control of Concrete Mixtures : Portland, Blended, and Other Hydraulic Cements”, Portland Cement Association, 2002.
- 8 ice-glaces.ec.gc.ca