

- การเพิ่มความคงทนจากการกักร่อนของสารเคมี ชีวะและรังสี เช่น น้ำ กรด ด่าง เกลือ ไซมัน ไอ ทะเล เชื้อรา และรังสี Ultra-Violet เป็น Monomers ที่ทำให้เกิดการ Cross Link ก่อให้เกิด Co-Polymers คลอบคลุม ห่อหุ้มจุดผลึกต่าง ๆ เอาไว้ในลักษณะ Co-Center Matrix ที่กักทนในการใช้งานที่ยาวนานในลักษณะยังคงใหม่ เสมอ โดยการสรรหา Co-Polymers ที่เหมาะสมจะสามารถมี Aging นานนับศตวรรษ

งานผนัง ใช้ ก่อ ฉาบด้วย Portland Novelty

งานพื้น ใช้ปรับระดับพื้นด้วย Portland Fluidifier

งานโครงสร้าง ใช้ Portland Ultra

งานเคลือบฉาบผิวบาง ใช้ Portland Coat

งานพ่นเคลือบผิว ใช้ Portland Resin

- งานสถาปัตยกรรมปั้นแต่งขึ้นรูป งานปูนใช้สารเคมีผสมเพิ่มที่ เหนียว นุ่ม ลื่น ผิวเนียน เกาะรวมตัวดี ทำให้ปั้นแต่งขึ้นรูป พิมพ์ลายได้ง่ายคล้ายปั้นดินน้ำมัน โดยใช้ Portland Stucco แต่หากเป็นมวลเบาจะหล่อขึ้นรูป ที่มีลวดลายตรงตามแบบพิมพ์ที่หล่อได้ชัดเจนทุกประการ เช่น หล่อด้วยกระจกจะราบเรียบสะท้อนได้ เช่นเดียวกับกระจก หากหล่อลวดลายก็จะได้ลวดลายคมชัด แต่ไม่สามารถแต่งเติมได้อีกนอกจากพ่นเคลือบผิว ด้วย Portland Resin เพราะจะเปิดไปสู่จุดโครงสร้างที่เต็มไปด้วยรูพรุนและน้ำซึมผ่านได้ง่าย

- งานพื้น เป็นสารเคมีผสมเพิ่มเพื่อ เป็น Plasticisers ที่ใช้กับพื้น

งานหินขัด สำหรับกันหินขัดมีรอยแตกร้าวร้าว โดยใช้ Portland Terrazzo

ถ้าต้องการเพิ่มความคงทนเคมีในการกักร่อนของพื้นหินขัดพร้อมกันแตกร้าวด้วยใช้ Portland Polymer

งานพื้นปรับระดับเรียบ ใช้ สารเคมีผสมเพิ่ม Portland Fluidifier

งานพื้นกันสึก Floor Hardener ใช้ สารเคมีผสมเพิ่ม Portland Glue ใน ปริมาณ 3 หน่วย ผสมกับปูน โรย ด้วยทรายกรวดหรือ Corundum ขนาด 2- 3 มม.

- สีซีเมนต์ Portland Color เป็น Oxides ของโลหะที่มีสีจับกับ โครงสร้างจุลผลึกกลายเป็นจุลผลึกที่มีสี เป็นการถาวร เช่น Chrome Oxide Green หรือ  $Cr_2O_3$  ทำปฏิกิริยากับปูนจะกลายเป็น Chrome Ettringite หรือ  $3CaO.Cr_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$  ให้สีเขียว หรือ Iron Oxide Red หรือ  $Fe_2O_3$  จะกลายเป็น Ferro Ettringite หรือ  $3CaO.Fe_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$  ให้สีแดงเป็นต้น สีเหล่านี้สามารถผสมสีกันเองได้ตามหลักการผสมสี ฉะนั้นการ ใส่สีชนิดอื่น ๆ เช่น สีข้อม้าหรือ Distaff จึงใช้ไม่ได้เพราะจะละลายน้ำหายไปจึงไม่คงทน

- น้ำยาทาแบบ มี 2 ประเภท คือ Oil และ Emulsion ผสมน้ำ 3 ถึง 15 เท่า โดยเขย่าก่อนพ่นแบบ จะพ่นหนา หรือบาง ผสมน้ำมากขึ้นกับคุณภาพผิวเป็นสิ่งสำคัญ โดยชนิด Stain Free Oil คือ Portland Mold ชนิด Emulsion คือ Portland Foam

# Flexible Concrete



**Fiber reinforced concrete (approx. 2% vol.) : 500 time more resistant to cracking and 40 % lighter in weight**

## รูปที่ 6 บ้านที่ทำจาก Flexible Concrete

การขยายตัวอาจเกิดขึ้นที่มวลรวม Light Weight Aggregate Concrete และ Light weight Aggregate Cellular Concrete เช่น มวลรวมหยาบแทนหิน สามารถใช้ Portland Pebble ซึ่งเป็นเซรามิกมวลดินพอง ที่ทำจากดินเผาที่ขยายพองตัวจากน้ำกลายเป็นไอแล้วผาต่อจนถึงอุณหภูมิเยิ้มตัวของเซรามิก ทำให้ได้มวลรวมแข็งแรงที่มีความหนาแน่นเพียง 0.4 ถึง 0.5 เท่านั้น ทำให้สามารถสร้างตึกสูง 3 เท่าจากฐานรากเท่าเดิม ซึ่งเหมาะสำหรับตึกสูง

- การเพิ่มกำลังเกาะยึด ทั้งระหว่างผิวทั้งใหม่กับผิวเดิมหรือกับวัสดุอื่น เช่น เหล็กและวัสดุประสาน มวลละเอียดและมวลหยาบที่เกาะแน่นระหว่างกันซึ่งมีทั้งการเกาะยึดขณะเปียก Green Bonding Strength ในขณะทำงาน และการเกาะยึดเพื่อใช้งาน Ultimate Bonding Strength โดยกำลังเกาะยึดมีหลายระดับตามความจำเป็น

การเกาะยึดจากการก่อฉาบทั่วไป ใช้ Portland Plaster

การเกาะยึดผนังฉาบผนังหล่อหรือมวลเบา ใช้ Portland Bond

การเกาะยึดพื้นผิวคอนกรีตเก่า เพื่อเทคอนกรีตใหม่ทับ ใช้ทาหรือ ฟัน Portland Stick แล้วเททับก่อนแห้ง

การเกาะยึดเพื่อปูกระเบื้อง ผสมปูนด้วยสารเคมีผสมเพิ่ม Portland Tile

การเกาะยึดรับน้ำหนัก เป็น Engineering Polymer Glue โดยใช้ Portland Glue ดังนี้

ใส่ 1 หน่วย ติดกระเบื้องเกาะดีกว่ากาวซีเมนต์ติดกระเบื้องทั่วไป (โดยติดกระเบื้องด้านลึกลงกับด้านลึกลงได้)

ใส่ 2 หน่วย ติดหิน Granite รับ Wind Load ในอาคารสูงได้

ใส่ 3 หน่วย รับแผ่นดินไหว โครงสร้างแตกยังเกาะติดแน่นได้

- การเพิ่มคุณสมบัติการยิง การเป่าฟอง โดยไม่มีน้ำลิด แยกชั้น ไม่อุดตันในท่อเป่า ลดพลังงาน เป่าไกลและสูงขึ้น รวมทั้งการเป่าฟองที่ส่วนผสมคอนกรีตเป่ายากเช่นคอนกรีตเหลวมากเป็นต้น ใช้ Portland Pump สำหรับสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีตฟอง Portland Shot จะเป็นการผสมผสานคุณสมบัติของ Portland Pump กับสารเคมีผสมเพิ่มชนิดอื่นเพื่อเพิ่มให้เป็นที่ไปตามคุณสมบัติการทำงานและการใช้งานในแต่ละชนิด ซึ่งตาม ASTM C1141 มีถึง 9 Grade ดังนั้น Portland Shot จึงมีให้เลือกทั้ง 9 Grade โดยทั้งรุ่นใส่ และ ไม่ใส่เส้นใยแทนเหล็ก Portland Fiber



รูปที่ 5 Portland Polymer เข้าปรกคลุมกลายเป็น Co-Center Matrix ร่วมกับจุลผลึก

- ควบคุมการหดตัว คงรูปและการขยายตัว ของปริมาตรตามลักษณะความต้องการใช้งาน  
การหดตัว โดยปรกติส่วนผสมเคมีของปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ตาม มาตรฐาน ASTM C150 จะเป็นปูนชนิดหดตัว 1% เพื่อใช้รั่วมวลรวมให้แน่น ดังนั้นถ้านำเอาปูนล้วนไปใช้ผิดประเภท เช่น ชัดคาดฟ้าให้เรียบจะพบว่า จะมีรอยแตกกว้าง 1 มม. ในทุก ๆ วง 100 มม.เสมอ ซึ่งแก้ไขได้โดยใช้สารเคมีปรับระดับ Portland Fluidifier ผสมปูนทรายปรับระดับพื้นแทน

การคงรูป หรือ Non Shrink Grouting ใช้ในการ อัด อุด ขา ระหว่างผนัง โดยปรกติจะเปล่งขยายตัวเล็กน้อย 0 ถึง 0.5 % ใช้ในกรณีที่จะยึดเบียดติดแน่นกับขอบผนัง 2 ด้าน สารเคมีผสมเพิ่ม เช่น Portland Grout

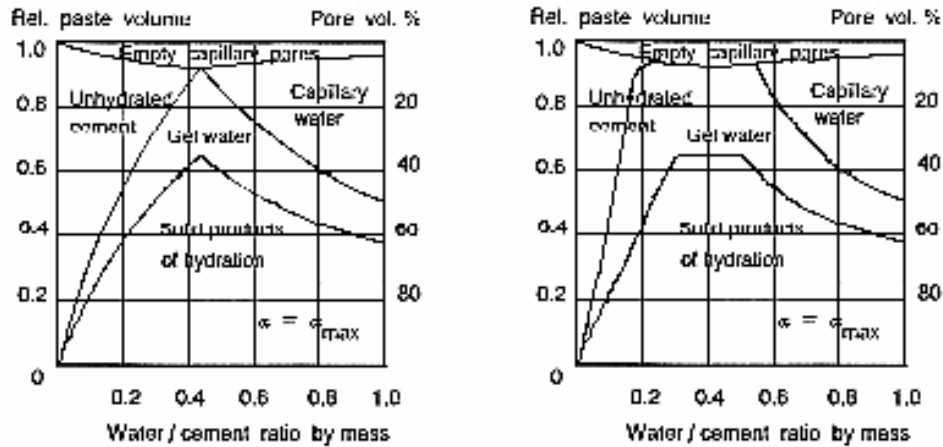
การคงรูป ที่ใช้ในการ อัด อุด ขา ระหว่างผนังโดยอาศัยการเปล่งตัวออกกรอบด้าน จนเกิดแรงอัดยึดแน่นกรณีนี้มักใช้กับฐานแท่นเครื่องจักร หรือ Machine Grouting จะขยายตัว 2 ถึง 4 % ใช้ Portland Grout ชนิดแท่นเครื่อง ซึ่งสามารถรับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรได้

การขยายตัว ในอัตราต่ำมักจะเป็นการขยายตัวของปฏิกิริยาเคมี ที่ให้โพรงอากาศหรือฟองอากาศเพื่อให้มีเนื้อที่ภายในที่จะขยายตัวรองรับความเครียดเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นเพื่อไม่ให้เกิดการปริแตกจากแคดเฟา หรือรองรับสภาวะขยายตัวหดตัวของน้ำขึ้นน้ำลง หรือสภาพน้ำแข็งสลับกับละลายโดยใช้สารเคมีผสมเพิ่ม Portland Air

การขยายตัวในปริมาณสูงเพื่อให้หน้าหน้าต่อหน่วยปริมาตรเบาขึ้นเช่นวัสดุมวลเบา จะใช้สารเคมีผสมเพิ่ม Portland Foam ซึ่งเทหล่อลงแบบในลักษณะ Self Level มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันร้อนและกันเสียง

การทำวัสดุมวลเบาโดยมีโคลงสร้างจุลผลึกทางวิศวกรรมที่เบาแต่แข็งแรงที่รวมเอา Portland Foam และสารเคมีผสมเปลี่ยน โครงสร้างจุลผลึกทางวิศวกรรม Portland Cellular เข้าด้วยกัน เรียกว่า Portland Honey Comb ที่เปลี่ยนโครงสร้างจุลผลึกเป็นรูปร่างผึ้ง และถ้าเพิ่มเส้นใยแทนเหล็ก Portland Fiber สามารถทำเป็น Flexible Concrete ได้ ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนไม้เนื้อแข็งที่แข็งแรงมาก เช่น ไม้เต็ง-รังเป็นต้น เหมาะอย่างยิ่งในการทำประตูหน้าต่าง วงกบที่รองรับการกระแทกปิดเปิด หรือแม้แต่หล่อบ้านทั้งหลัง

6. อดน้ำ บ่มปูน (Self Curing) จากการอดน้ำ บ่มจนปฏิกิริยาปูนกับน้ำสมบูรณ์
7. สามารถใช้งานร่วมกับสารเคมีผสมเพิ่มชนิดอื่นเช่น สารลดน้ำได้ เพราะไม่ได้มีประจุที่มีผลการกระจายตัวของปูน จึงสามารถใช้ส่วนผสมเดิมได้ทุกประการ



รูปที่ 4 ตารางเปรียบเทียบการก่อตัวของจุลผลึกและ ความคงทนกำลังกด เทียบกับน้ำ

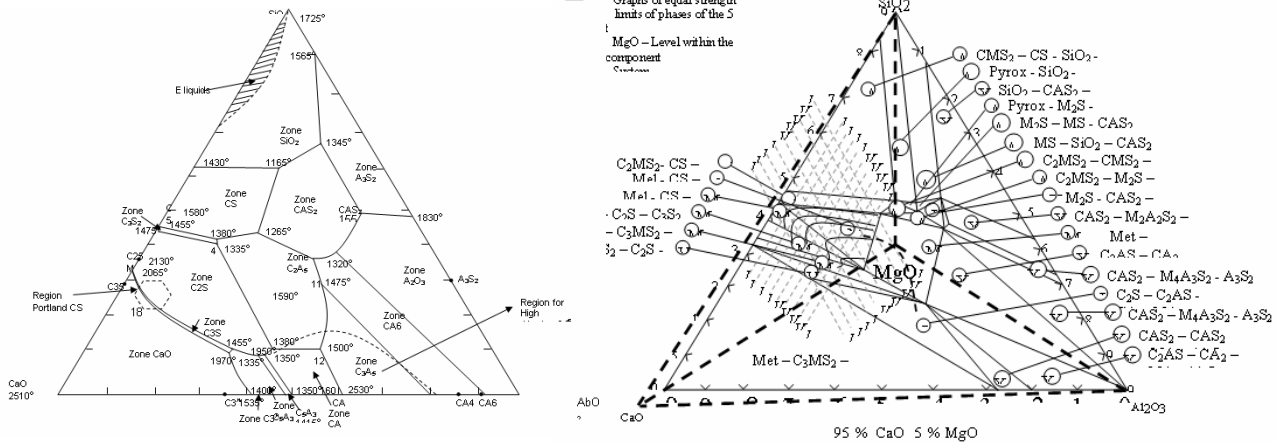
ในกรณี เพิ่มประสิทธิภาพสูงที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ สามารถการอัดแน่นได้ด้วยตนเอง Self Compacting Concrete โดยไม่ต้องใช้เครื่อง Vibrator สามารถไหลได้มากจนสามารถเข้าสู่ซอกมุมรวมทั้งสามารถใส่เส้นใยแทนเหล็กได้ มีความคงทนกำลังอัด และบิด สูงเกินขีดจำกัดปรกติแม้ในระยะชั้น เกาะแบบ ตัดลวดได้เร็ว สามารถใช้ Portland Ultra แทน Portland Retain ได้

หากเป็นการหล่อ เป้าพัน หรือรีดแบบต่อเนื่อง ที่มีคุณสมบัติทั้ง Portland Ultra Portland Acc รวมทั้งเส้นใยในประสานแทนเหล็ก จะเรียกเป็น Portland Rapid เช่นรีดท่อชลประทาน หรือพันอุโมงค์กันดิน เป็นต้น

- ปรับระดับความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนกับน้ำ ให้เหมาะสมกับสภาพงานและบรรยากาศแวดล้อม ถ้าจะเพิ่มความร้อนในอดีตเมื่อเร่งปฏิกิริยาการบ่มคอนกรีตเรามาบ่มคอนกรีตไว้ในที่ปิดเพิ่มให้ Exothermic Heat มาช่วย ถ้าจะลดความร้อนปฏิกิริยามักจะให้ปูน Sulfate เพื่อสร้างจุลผลึกที่มี Sulfate เพื่อลดความร้อนของปฏิกิริยา ซึ่งก็เป็นวิธีเดียวกับนาโนคอนกรีตเทคโนโลยีในปัจจุบัน แต่จากการศึกษาจุลผลึกจากการถอดรหัสผลึกของอนุพลฐพีที่มีอยู่อย่างมากมายทำให้มีทางเลือกมากขึ้นมาก ดังนั้น Mass Concrete ก็ดี คอนกรีตที่ให้กับห้องเย็นก็ดีจึงมีทางเลือกมากขึ้น สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยา เช่น Portland Mix

- ป้องกันการซึมผ่านของน้ำและของเหลว ในรูปแบบคล้ายน้ำหยดลงบนกระดาดอาบน้ำมันของ Hydrophobic ซึ่งมักเหมาะแก่การกันฝนสาด เช่น สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับฉาบกันซึม Portland Proof หรือ อุดแน่นจนสามารถกันการซึมผ่านของน้ำแบบ Permeability Resistance โดยใช้สารโพลีเมอร์ มาช่วยปรกคลุมจุลโครงสร้างก็ได้ดังนั้นสารเคมีผสมเพิ่มจะช่วยกันน้ำค้าง เช่น Portland Polymer

**ตัวอย่าง** การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก เช่นลด CaO โดยเติม MgO 5% ลงแทนใน Phase Diagram ของ SiO<sub>2</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> CaO จะพบว่า มีจุดผลึกอีกมากมายที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิห้องให้เลือกได้ หากถอดรหัส อนุมูลของวัสดุปฐพีต่าง ๆ ขอมมีโอกาสจะเลือกจุดผลึกที่เหมาะสมกว่าได้



**รูปที่ 3** เปรียบเทียบ Phase Diagram ระหว่าง 3 Phase ของ SiO<sub>2</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> CaO และ 4 Phase ของ MgO SiO<sub>2</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> CaO

ดังเช่น Portland Super เพิ่มความทนกำลังอัด Portland Hyflex เพิ่มความคงทนกำลังบิด Portland Ultra เพิ่มความคงทนกำลังกด ความคงทนกำลังบิด เพิ่มการไหลเป็น Self Compacting สามารถใส่เส้นใยรับกำลังดึงแทนเหล็กและเพิ่ม High Early Strength เกินกว่า ชิดจำกัดปรกติของคอนกรีตที่พึงจะทำได้

- เพิ่มหรือลดความเร็วในการก่อตัวและแข็งตัว เพื่อให้เหมาะสมกับเวลาทำงาน แกะแบบหรือเวลาเพื่อลำเลียง สามารถเลือกจุดผลึกที่เกิดขึ้นได้ในเวลาที่เร็วหรือช้าได้ตามต้องการ ที่เร็วที่สุดคือแข็งตัวคาโมผสม ไปจนช้าที่สุดนับสัปดาห์หลังการผสม

**ตัวอย่าง** เพิ่มความเร็วในการก่อตัว Portland Acc (ระบุความเร่งที่ต้องการได้)

ลดความเร็วในการก่อตัว Portland Retard (ระบุความหน่วงที่ต้องการได้)

-เพิ่มประสิทธิภาพงานปูน ลดการสูญเสีย เพิ่มผลผลิตขณะผลิต และสม่ำเสมอเมื่อการใช้งานซึ่งเกิดจากการที่ใส่สาร Hydro Scoop Polymer ที่ดูดน้ำเข้าไปในโมเลกุลได้มากกว่าหลายร้อยเท่า เปลี่ยนโพรงน้ำในปูนให้เป็นโพรงวุ้น ตัวอย่างเช่น Portland Retain ที่ทำให้

1. ป้องกันน้ำลิด (Breeding) จากความตึงผิวของสารวุ้น
2. ป้องกันแยกชั้น (Segregation) จากแรงพยุงที่เพิ่มขึ้นของสารวุ้น
3. ป้องกันการแตกขณะกำลังแข็งตัว (Plastic Shrinkage Cracks) จากการเพิ่ม Elasticity ของสารวุ้น
4. ป้องกันการแตกเนื่องจกน้ำแห้ง (Drying Shrinkage Cracks) จากการคายน้ำให้ปูนของสารวุ้น
5. ช่วยในการยิง เป่า ฟัน (Pumping Aid) จากการลดความเสียดทานของสารวุ้น

สถานะของสารเคมีผสมเพิ่ม มีทั้งที่เป็น

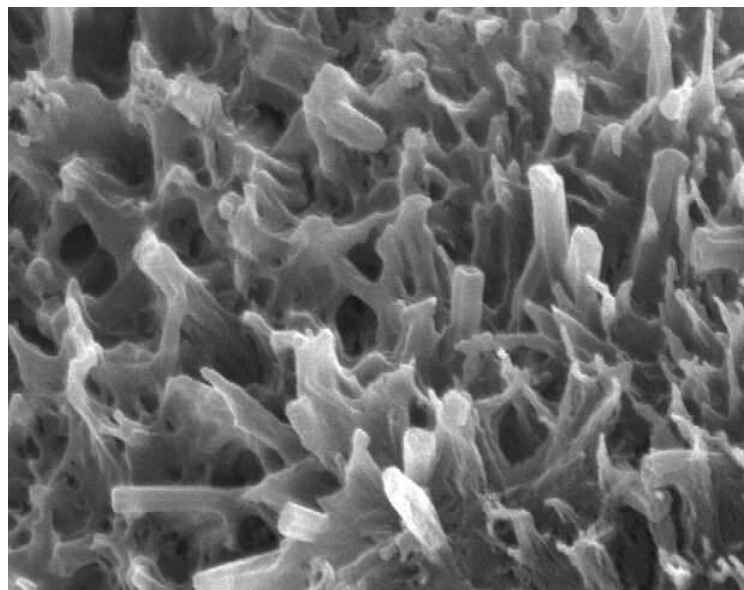
1. สารเคมีผงละลายได้ในน้ำเป็นสารละลายที่เป็น ของเหลว
2. สารเคมีผงละลายได้ในสารทำละลายเป็นสารละลายที่เป็น ของเหลว
3. สารเคมีผงที่ไม่ละลายแต่สามารถทำปฏิกิริยาให้เปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลผลึกได้

ดังนั้นสารเคมีผสมเพิ่มอาจผสมผสานในรูปแบบใดแบบหนึ่งหรือหลายรูปแบบที่หลากหลายก็ได้ เช่น เอาส่วนหนึ่งส่วนใดไปละลายน้ำหรือในละลายสารละลาย กลายเป็นของเหลว ในรูปกึ่งชั้นเหลว เช่น Gel หรือ Cream หรืออาจมาจากกากอุตสาหกรรม เช่น Molasses สำหรับเหล้า ที่ละลายกลายเป็นสารละลายอยู่แล้วเป็นต้น

สารเคมีผสมเพิ่มเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในการทำงานและการใช้งานงานปูนดังต่อไปนี้

- **เพิ่มคุณสมบัติการทำงาน** เช่น ไหลลื่นมากขึ้น สามารถขุดตัวแผ่กระจายออกมากขึ้น โดยใช้น้ำเท่าเดิม ดังเช่นสามารถฉาบได้เบาแรงมากขึ้น สามารถแทรกมวลรวมต่างๆมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสิ่งที่หนืดเช่น เส้นใย เป็นต้น และถ้าขุดตัวเท่าเดิมความคงทนกำลัง จะมากขึ้นเป็นผลจากการที่มีโพรงภายในลดลง เนื้อแน่นขึ้น

**ตัวอย่าง** Portland Fluidifier เป็นสารเคมีผสมเพิ่มเพื่อทำพื้นปรับระดับได้เองเนื่องจากเปลี่ยนแปลงจุดโครงสร้างปูนจากรูป มุกขาวของปูนที่หนืด มาเป็นรูป ตะกั่วกลมเกิดการไหลลื่นมาก ขุดตัวมากจนปรับระดับได้เอง (นอกจากรูปตะกั่วกลมไหล และขุดตัวเสร็จแล้วส่วนเหลือของน้ำปูนที่เหลือมีส่วนผสมของจุลผลึกที่งอกออกมาเป็นเส้นใยประสานเส้นเหลี่ยมที่เพิ่มความคงทนกำลังบิดเกิดขึ้นในเวลาต่อมา ดังรูป



**รูปที่ 2** จุลผลิกรูปตะกั่วกลมประสานกับเส้นเหลี่ยม

- **เพิ่มความแข็งแรง** อาจเป็นความคงทนกำลังอัด ความคงทนกำลังบิด ความคงทนกำลังดึง การกำหนดส่วนผสมคอนกรีตที่ถูกต้องร่วมกับสารเคมีผสมเพิ่มชนิดเปลี่ยนโครงสร้างจุลผลึกที่เหมาะสม สามารถเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีตที่เกินกว่าขีดจำกัดปกติของคอนกรีตที่ใช้สารลดน้ำแบบดั้งเดิมได้ ทั้งความคงทนกำลังอัด ความคงทนกำลังบิด ความคงทนกำลังดึง โดยขีดจำกัดใหม่จะไปอยู่ที่ความคงทนตามธรรมชาติของจุลผลึกใหม่ที่สร้าง

# สารเคมีผสมเพิ่มในงานปูน

โดย

ไพโรจน์ สตาวรงค์

บริษัท ปอร์ตแลนด์ จำกัด

[www.portlandchemical.com](http://www.portlandchemical.com)

089-117-8300

## นิยาม

งานปูน ต้องเป็นงานที่ประกอบด้วยวัสดุประสานอย่างน้อย 1 ชนิด ที่เป็นของแข็งชนิดผง ทำปฏิกิริยากับน้ำ แล้วรวมตัวกับน้ำจับตัวเป็นของแข็ง วัสดุประสานหลักเรา เรียกว่า ปูน

สารเคมีผสมเพิ่ม ในงานปูนเป็นสารเคมี เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุประสานให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทำงานและการใช้งานที่กำหนด ทั้งนี้รวมถึงวัสดุที่มีส่วนร่วมเป็นวัสดุประสาน เช่น ใยต่างๆ ด้วย

มวลรวมทั้งมวลรวมละเอียด และมวลรวมหยาบ คือ ของแข็งที่เข้าไปเติมเพิ่มโดยไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ แต่แทรกตัวกันเป็นก้อนของแข็ง กว่าจะมีส่วนร่วมในการเปลี่ยนโครงสร้างของจุลผลึกอาจกินเวลายาวนานนับปี

ปัจจุบันสารเคมีผสมเพิ่มมีวิวัฒนาการแบบก้าวกระโดดจากเคมีผสมเพิ่มในยุคต้นอันเนื่องมาจาก

1. Scanning Electro Microscope (SEM) สามารถเข้าไปเห็นถึงระดับ โครงสร้างจุลผลึกของโมเลกุลที่ประกอบกันอยู่ ประสานกัน
2. ความรู้ทางด้าน นาโนคอนกรีตเทคโนโลยี (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน Web Site เรื่องนาโนคอนกรีตเทคโนโลยี)

ดังนั้นสารเคมีผสมเพิ่มที่ปรับ โครงสร้างจุลผลึกที่เหมาะสมจึงเป็นยุคแห่งการปฏิวัติสารเคมีผสมเพิ่ม

**ตัวอย่าง** รูปจุลผลึกเส้นใยรวมกันเป็นกำ ๆ อย่างเป็นระเบียบ ย่อมให้ค่าความคงทนกำลังบิดได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับจุลผลึกหลากหลายที่ไร้ระเบียบและควบคุมไม่ได้เมื่อใช้สารเคมีผสมเพิ่มแบบดั้งเดิม



รูปที่ 1 จุลผลึกรูปลูกธนูทั้งกำย่อมรับกำลังบิดได้มากกว่า