

(ว่าที่) คอนกรีต กับ (ว่าที่) นายช่าง

โดย ว่าที่นายช่างหย่าย

คราวที่แล้วเราพูดถึงถึงความคงทน.....

ความคงทน¹ นี้สำคัญนะครับ ...มันหมายถึงว่าโครงสร้างของคุณจะอยู่ยั่งยืนยง แค่ไหน ...เอ...แล้วคุณจะรู้ได้ยังไงว่ามันจะ”คงทน” อย่างที่คุณต้องการ.....แล้ว”คงทน” มันแค่ไหนกันล่ะครับ.....คุณจะวัดได้ยังไง.....หลังจากนั้นคุณจะทำยังไงต่อ.....เห็นไหมครับ แค่ตั้งคำถามก็ปวดหัวแล้ว การตอบคำถามยิ่งหนักขึ้นไปอีกแห่ง ๆ แต่ คำถามอันแรกก็คือทำไมคุณถึงอยากให้ “โครงสร้าง” ของคุณคงทนล่ะครับ?.....

..... คำตอบง่ายง่ายนะครับ.....ก็เพราะคุณจะได้ใช้โครงสร้างไปนาน ๆ เสียค่าซ่อม น้อย ๆ ینگครับ.....กาลครั้งหนึ่งนานมาแล้วนายช่างทั้งหลายเคยเชื่อว่าคอนกรีตนี้ เป็นวัสดุประเภทชั่ววินิจนिरันครกาลเลยนะครับ สร้างแล้วสร้างเลย แต่คุณก็เห็นใช้ใหม่ครับว่าเรามีคอนกรีต “จีเหร์ และจีโรค” อยู่ทั่วไป...

ทำไม นะหรือครับ ก็เพราะคอนกรีตก็เหมือนกันกับคนนะแหละครับที่.....อนิจจัง.....วัดสังฆา รา.....(กรุณาทำเสียงให้เหมือนด้วยครับ) ใช้ไปนาน ๆ...ผ่านร้อนผ่านหนาว...ผ่านไอบอบวอลของเกลือ...ของกาซ) ก็ซั๊กเจ็บ ซั๊กแกได้.....สรุปว่าที่เข้าใจมาตั้งนานนั้น....ผิคนะ ลู้ง...เพียงแต่คอนกรีตนั้นต้องการการบำรุงรักษาน้อยกว่าวัสดุอื่นๆ...แต่นั้นก็หมายความว่า คุณต้อง “รู้จั๊ก” และ เลือัก “ทำงาน” เลือัก “ใช้” ให้ถูกต้อง...แถมดูแลนิดๆหน่อยๆด้วยนะครับ เพราะเดี๋ยวนี้สภาพแวดล้อมเอย วัสดุเอย คุณภาพฝีมือเอย...อะไรๆก็เปลี่ยนไป คอนกรีตของ “คุณ”และของผมเกาะเลย “มีแนวโน้ม”ที่จะแก่กว่ากำหนด..คุณแหละครับ(รวมทั้งผมด้วย) ที่จะเป้นพระเอกช่วยให้ “คอนกรีตแก่” ช้าลงใช้งานตามที่เรำต้องการได้นานๆ..

วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine



ทำยังไงเหอครับ....ถ้า อยากให้มันสดใสแข็งแรง ใช้งานได้นาน ๆ ก็ต้องให้มีสุขภาพดีก่อนตั้งแต่แรก....มีการซ่อมแซมบำรุงรักษาตามสมควรตอน มันป่วยนิด ๆ หน่อย ๆ....บำรุงรักษา ก็เหมือนกับเป็นไข้ปวดหัว ไปหาหมอ นะแหละครับ....แต่ให้มีสุขภาพดีก่อน....จะ ทำยังดีล่ะ.....อันนี้ เป็นหน้าที่ของผู้เกี่ยวข้องในทุกระดับละครับ ตั้งแต่วิศวกร... (รวมถึง “ว่าที่” วิศวกรอย่างผมด้วยนะครั๊บบ) ออกแบบอย่างดี แดมผู้รับเหมายัง (ควรร) ตั้งใจทำงานอย่างดี พอสร้างเสร็จเจ้าของใช้งานก็มีการตรวจตราดูแลเป็นประจำ.....ของบางอย่างทำได้ง่าย ๆ โดยไม่ต้องเสียตังค์เพิ่มซักเท่าไรหร่นะครับ แต่ท่านจะได้ของดีขึ้นอีกเยอะ.....อย่างเวลาจะเทคอนกรีตก็ระวัง อย่าให้คนงานแอบเติมน้ำเพิ่มชะเหลวไว้ก็.....อันนี้ นะกำลังตำแหน่ง ๆ แดมความคงทนก็ลดพรวดพราดอีก....หรือเทคอนกรีตเสร็จก็ “บ่ม” ชะหน่อย ตามที่ “นายช่าง” ตัวจริงท่านกำหนดไว้ แค่นี้กำลังคอนกรีตก็จะ “ได้ดั่งใจ” แล้ว หรือถ้าท่าน ๆ จะเทคอนกรีตบ้านพักตากอากาศชายทะเลเอาไว้นอนจิบ “เบียร์...รู่” ก็ให้มีคอนกรีตหุ้มเหล็กหนาซัก 5 เซนต 7 เซนต ก็จะได้ดั่งใจ...อายุโครงสร้างไปได้โดยเสียตังค์เพิ่มน้อยมาก.....เห็นไหม ครับ.....พูดไปก็อีกยาวแหละครับ.....แล้วจะเหมือนอาจารย์ผมที่สามารถ “ร้ายยาว” ได้เป็นครึ่ง ชั่วโมงจนเพื่อนผมทำตาปริบ ๆ บอกเสียงอ่อย ๆ อย่างเกรงใจเต็มที ว่า “อาจารย์ครั๊บบ...ผมยังมีเรียนต่ออีกตึกนึ่งครับ....แสะ แสะ”

.....เอา เป็นว่า คอนกรีตเป็นวัสดุมหัศจรรย์.....ที่ถ้าเราอยากได้ดั่งใจ.....เรามีทางที่จะ ทำได้ตั้งหลายอย่าง..... ทำยังไงเหอครับ...เราเริ่มที่ทำความเข้าใจ “วัสดุ” ก่อนดีไหมครับ...พูดง่าย ๆ ว่าถ้าเราจะรู้จักกะครอบครั้วคอนกรีต เราก็ควรจะทำ ความคุ้นเคยกะสมาชิกแต่ละหน่อ ก่อน อย่าง ซีเมนต์ หินทรายกับน้ำ ก่อนใช้ไหมครับเก๊าะหมายความว่า คุณ(ควรร) ต้องอ่านบทต่อไป เพื่อทำความเข้าใจและเข้าใจและแก้ใจ “คอนกรีต” ให้ถูกต้อง ังครับ.....แหะ.....แหะ...
....เดี๋ยวครับ....คุยมาตั้งนานเรายัง ไม่ค่อยรู้จักกันเลย.....รูปข้างล่างเนี่ยผมกะคู่ชี้ ังครั๊บบ.....แล้วรูปคุณล่ะครับ....อย่าลืมส่งมานะครับ

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 งามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>



องก์สอง ซีเมนต์.....วัสดุจากดาวอังคาร

มีหนังสืออยู่เล่มหนึ่งนะครับ ชื่อเรื่องเทห์ระเบิด.....เค้าบอกว่า ผู้ชายมาจากดาวอังคาร ผู้หญิงมาจากดาวพุธ...เอ๊ย ดาวศุกร์อะไรเทือกนั้นละครับ

.....ผม ก็ว่า ไอ้เจ้าปูนซีเมนต์นี่คงจะต้องมาจากดาวอังคารแหง ๆ.....ทำไมเหรอครับ ก็อะไรอะไรมันสื่อไปทางนั้นหมดนี่ครับ อย่างเช่น ไอ้เจ้านี้มันทำปฏิกิริยาดีดักกับน้ำ.....น้ำนี้มีเพลงโบราณมาก กก.....อยู่เพลงนึง เขาเปรียบเทียบสาวเจ้าเป็นน้ำ.....เคยได้ยินไหมครับ.....จะเถียงไหมละครับ ว่า “นาย” ช่าง (จิดเส้นใต้ที่คำวานายนะครับ...นาง สาวช่างไม่เกี่ยว) นี่เป็นโรคแพ้น้ำ...เอ๊ย...สาว ไปทุกคน ยิ่งสาวสวยละก็ กระจดี กระจดำ ปฏิกิริยาอ่อนไว้มากเลย แถมทำปฏิกิริยากับน้ำตอนแรก ๆ ยังอ่อนโยนนุ่มนวลอยู่เลย แล้วค่อย ๆ แข็งกระด้างขึ้นตามเวลาที่

ผ่านไป.....(อันนี้ผมหมายถึงกิริยาوازنะ ครับ)เห็นใหม่ล่ะว่าเหมือนพฤติกรรมผู้ชายเปียบ.....กลับดีกว่าครับ..... กลับ.....

ปูนซีเมนต์นี้เค้าเอามาเติมน้ำ ให้เกิดปฏิกิริยา แล้วก็เต็มหิน เต็มทราย ผสมกันกลายเป็นคอนกรีต.....คุณทราบไหมครับว่ามนุษย์เราใช้คอนกรีตมาตั้งกะเมื่อไหร่..... โห..ตั้งแต่เค้าสร้างมหาวิหารแพนธีออน² มาครั้งกระนั้นละครับ เพียงแต่คอนกรีตสมัยก่อนเขาใช้ปูน lime ไม่เหมือนสมัยนี้เท่านั้น.....ตอนโน้นเค้า (นายช่าง(เก่า)...แก่ ๆๆ) เขาใช้เค้าภูเขาไฟมาผสมกับปูนขวานะครับ แตกต่างในกรรมวิธีแต่คล้ายคลึงในผลลัพธ์.....

ยุคของปูนซีเมนต์สมัยใหม่ เรียกได้ว่า เริ่มมาซักร้อยกว่าปีมาแล้ว คนอังกฤษที่ชื่อ คุณ โจเซป แอสปดิน³ เค้าเกิดอุบัติเหตุ เอาหินชอล์กกับดินเหนียวมาเผาไฟแล้วบด เติมนสารอีกนิด ๆ หน่อย ๆ สุดท้ายพอเอา

มาผสมน้ำทิ้งไว้สักพักก็จะแข็ง มีสีเหมือนหินจากเมือง Portland ที่นิยมใช้ในงานก่อสร้าง พี่ท่านเลยไปจดลิขสิทธิ์ในนามของ “Portland Cement” ซะเลย.....จากนั้น “เค้า” (อีกหลาย ๆ คนนะครับ) ก็พัฒนาซีเมนต์มาเรื่อย ๆ จนหน้าตาเหมือนในปัจจุบัน

เค้าผลิตซีเมนต์.....ให้เป็น”ปูนดี”ได้ตั้งใจ” ..กันยังไงนะ

อาจารย์ผมเค้าชอบเริ่มว่า “เซอู้ใหม่.....” แล้วผมก็จะขอบตอบในใจว่า “ไม่รู้ครับ” ผมถามคุณก็แล้วกัน “คุณรู้ใหม่ว่า ซีเมนต์ทำมาจากอะไร?” ครับ เราผลิตซีเมนต์จากการเผาหินปูนกับดินเหนียว หินปูนก็เป็นพวก Calcareous material ส่วนดินเหนียวก็เป็นพวก argillaceous material ซึ่ง เป็นวัสดุหลักของการผลิตซีเมนต์.....การผลิตในสมัยก่อนมีทั้งขบวนการผลิตแบบ เปียกและการผลิตแบบแห้ง ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบนะครับว่าเปียกหรือมีความชื้นมากน้อยแค่ไหน....ถ้ามันชื้นมากน้อยกระบวนการผลิตแบบเปียกก็จะเหมาะสมเพียงแต่ใช้

พลังงานมากน้อยนะครับ แต่สมัยใหม่นี้.....ค่าไฟคงแพงมั้งครับ.....เกือบทุกโรงงานเลยนิยมใช้กระบวนการผลิตแบบแห้ง.. เขาทำยังงี้ครับ (กรุณาสรุปประกอบนะครับ) ชั้นแรกเขาแกะคัดแยกวัตถุดิบตามชนิดตามขนาดเป็นอย่าง ๆ ถ้าไม่ได้ขนาดแกะเอามาบดจนมีขนาดตามต้องการ.....

เสร็จแล้วก็ให้ความร้อนซะก่อนรอบหนึ่ง ที่เขาเรียกว่า “Preheat” ครับ ก่อนจะชั่งตวงวัดให้ได้ส่วนผสมตามต้องการ.....อย่างเช่น จะต้องใช้หินปูนซักเท่าไร? ดินเหนียวซักเท่าไร? แร่อื่น ๆ ซักเท่าไร?แน่นอนครับ.....ไอ้เจ้าอัตราส่วนพวกนี้มีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์สุดท้ายด้วยนะครับ....ทำเป็นเล่นไป

ที่นี่...เค้ามีอะไรกัน (ในเตาเผา呢ครับ)

พอเตรียมวัตถุดิบพร้อม...เค้าก็ป้อนไอ้เจ้าส่วนผสมพวกนี้เข้าไปในเตาเผาอย่างยาวววว.....ทราบไหมครับว่ามันใหญ่โตซักแค่ไหน.....ตอนต้นเทอม เปิดเรียนใหม่ ๆ อาจารย์เคยกวาดต้อนทโมนทั้งหลาย (ก็ พวกผมนะแหละครับ) ไปดูโรงปูน ตอนที่ต้องตื่นแต่เช้ามาขึ้นรถบัสคันโต (ก็โรงปูนมันอยู่ไกลไกลนะครับ เราเลยไม่ค่อยอยากตื่น) เรายังไม่ค่อยอยากตื่นซะไม่มี แต่พอไปเห็นหม้อเผาปูนนี่⁴ เราตาค้างเลยครับ.....คุณเคยเห็นหม้อเผาขนาดมหึมา มโหฬารขนาดนี้ไหมครับ เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3 เมตร ยาว 120 เมตร หมุนในแนวนอนอยู่ตลอดเวลา.....อ้ออ้อ.....เรากลายเป็นกึ่งแห่ง แน่ ๆ ถ้าหลุดไปอยู่ในนั้นอุณหภูมิข้างในเริ่มตั้งแต่ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียสที่แถวๆปากเตา (อันนี้ต่ำแล้วนะครับ) แล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามตำแหน่งของเตา....

พี่ๆที่โรงปูน กะ หนังสือที่ผมไปอ่านมาเค้าบอกว่าที่อุณหภูมิประมาณ 400 – 600 องศาเซลเซียส น้ำจะระเหยจากวัตถุดิบที่ใส่เข้าไป.....ขั้นนี้เค้าเรียกว่า evaporation หรือ dehydration ครับ ถัดมาอุณหภูมิจะสูงขึ้นเป็น 600 – 1350 องศาเซลเซียส ตอนนี้อ้เจ้าหินปูนก็จะสลายตัวคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ขั้นนี้เรียกว่าเป็น calcination ครับ ถัดมาอีกหน่อยอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 1350 – 1450 องศาเซลเซียส สารต่าง ๆ ก็จะเริ่มหลอมรวมตัวกันใหม่ เป็นสารองค์ประกอบหลักของซีเมนต์ พอใกล้ ๆ ปากเตาที่อุณหภูมิจะสูงไปถึงประมาณ 1450 องศาเซลเซียส สารต่าง ๆ จะเริ่มหลอมรวมจับตัวเป็นก้อนกลม แข็ง ๆ สีดำ ๆ หรือที่เรียกว่าปูนเม็ด ขนาดประมาณหนึ่งในแปดของคืบนี้ (เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 ซม.).....ความจริงไอ้เจ้าปูนเม็ดหรือ Clinker นี้มีขนาดไม่เท่ากันคือมีตั้งแต่ 6 มิล ถึง 50 มิล นะครับ หลังจากนั้นเขาจะทำให้อ้เจ้าปูนเม็ด นี้เย็นลงโดยเร็ว.....อันนี้มีความหมายนะครับ.....เพราะถ้าเย็นตัวต่างกัน สภาพความไวต่อปฏิกิริยาของสารองค์ประกอบก็จะต่างกัน ใจครับ...จากนั้นก็เอาไปบด..บด

..บด...พร้อม ๆ กับเติมยิปซั่ม...ถ้าไม่มีเจ้านี้ ผงซีเมนต์ที่ได้จะทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วก็จะก่อตัวอย่างเร็ว...จนคุณไม่มีเวลาทำงาน.....แล้วมันจะมีประโยชน์อะไร

.....จริง ๆ แล้วคุณรู้ไหมครับว่าอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์นี้ขั้นตอนง่าย ๆ ยังกะปอกกล้วยเข้าปาก.....ปากคนอื่นนะครับ (ไม่ใช่ผม.....ผมไม่ชอบกินกล้วยนี่ครับ) เพราะขั้นตอนไม่ซับซ้อนเลย แต่ที่ซับซ้อนนิด ๆ หน่อย ๆ ก็เพราะวัตถุดิบที่ใช้ คุณภาพมันไม่ค่อยจะคงที่ หรือ ผันแปรได้ง่ายละมังครับ เขา (โรงงานปูนอันนั้น...สะ...หมี) เลยต้องใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมกระบวนการตั้งแต่คุณภาพวัตถุดิบเลยนะครับ มีการวิเคราะห์ทั้งทางกายภาพ ทางเคมี ทั้งการชั่งน้ำหนักของวัสดุอย่างแน่นอนเพื่อให้แน่ใจไว้ครับว่า.....ปูนทุก ถู (ชนิดเดียวกันนะครับ) จะมีคุณภาพเหมือนกันหมด

...เห็นไหมครับ...ขั้น ตอนที่ง่ายแถมวัตถุดิบก็ยังมีไม่ใช่อะไรเอง แต่ปัญหามันเกาะมีบ้างนิด ๆ หน่อย ๆ อย่างเช่น ถ้าคุณใช้...แค่หินปูนกับดินเหนียว คุณเกาะต้องใช้อุณหภูมิสูง.....ม๊ก...ม๊ก...ในเตาเผา...น้ำมันเกาะแพ้ง แพง เขา (ใครก็ไม่รู้ละครับที่คิดออก) ก็เลยเติมสารเจือปนบางตัวลงไปอย่างเช่น Aluminum หรือออกไซด์ของเหล็ก ไอ้เจ้าสารพวกนี้ที่เขาเรียกว่า Fluxing agent ก็จะช่วยลดอุณหภูมิที่วัตถุดิบหลอมรวมกันให้ลดลงได้....

แต่มีประโยชน์ก็ต้องมีโทษนะครับ.... ค่าที่ไอ้เจ้าสารเจือปนพวกนี้อาจทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปัญหาตอนใช้ได้ในบางครั้ง (เรียกว่าโซคร้ายไปนะครับ) อย่างเช่น ถ้าคุณเกิดไปเจอแหล่งหินที่มีสารประกอบพวกซิลิกาที่มีปัญหา⁶ ไอ้เจ้าออกไซด์ของ Magnesium หรือ โซเดียม ที่เค้าเรียกว่า alkali ในซีเมนต์ ก็จะทำปฏิกิริยากับซิลิกาพวกนี้ ...เกิดเป็นสารที่คล้ายๆ วุ้นหรือเจลรอบ ๆ เม็ดหิน ...ยังไม่พอนะครับ....พอเจอพวกนี้ เจาะความชื้นที่แทรกซึมเนื้อคอนกรีตเข้ามาก็จะขยายตัว ดันให้คอนกรีตแตกออกเห็นเป็นรอยร้าวที่เขาเรียกว่า AAR⁷ ings ครับ

...แต่บ้านเราโซครดี โซครดีตรงที่หินบ้านเราส่วนใหญ่เป็นหินปูนคุณภาพดี ปัญหา AAR หรือ ASR ก็น้อยหน่อย).....ผมจะไม่อยากบอกคุณเลย....ว่าผมดีใจมั๊ยที่เป็น “ว่าที่นายช่างไทย”ปัญหามันค่อนข้างน้อยน้อยนะครับ.....ว่าแต่คุณเห็นด้วยกะผมไหม.....

สารองค์ประกอบหลักของซีเมนต์....ที่มาของเรื่องเล่า (เข้านี้)

วารสารคอนกรีต TCA e-magazine



เหมือนอย่างที่บอกละครับว่าโลกเรานี้ 75% เป็น น้ำ แต่ถ้าพูดถึงซีเมนต์ล่ะก็สารองค์ประกอบหลักมีอยู่สี่อย่าง คุณต้องเอาได้แ่ง ๆ ว่าไอ้เจ้าพวกนี้ต้องมีองค์ประกอบเป็นซิลิกา แล้วยังแคลเซียม แห่ง ๆ ไอ้

เจ้าพวกนี้มีอยู่ประมาณเจ็ดแปดสิบเปอร์เซ็นต์เชียว.....ก็มันจะไปไหนได้ละครับ..ก็วัตถุดิบส่วนใหญ่มาจากหินปูนกะดินเหนียวนี่ครับ.....ไอ้เจ้าสารพวกนี้เค้ารวมๆพวกกันอยู่เป็นสารประกอบสี่อย่างคือ C_3S , C_2S , C_3A กับ C_4AF เรียกว่า ถ้าแบ่งซีเมนต์มาซัก 100 กรัม ก็จะครบ ๆ ไอ้สารประกอบที่เรียกว่า C_3S รวม ๆ กันเข้าได้ประมาณ 50 กรัม C_2S อยู่ซัก 25 กรัม C_3A ซัก 12 กรัม C_4AF 5 กรัม Gypsum กับส่วนอื่น ๆ อีกซัก 5 – 8 กรัม.....

งใหม่ครับว่าไอ้อักษรย่อเนี่ยมันอะไรนะ.....เรื่องมันเป็นยังไงครับจอร์จ.....

ในแวดวงนักคอนกรีตวิทยา เขาตั้งชื่อเล่นของไอ้เจ้าสารประกอบต่าง ๆ อย่างเช่น ออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) เรียกว่า C.... เรียกออกไซด์ของซิลิกาหรือ SiO_2 ว่า S เรียกออกไซด์ของเหล็ก ว่า Fเรียกออกไซด์ของอลูมินาว่าA.....เสร็จแล้วก็จะเอาชื่อเล่นพวกนี้มาประกอบกัน แทนที่จะต้องไปจำไอ้ชื่อจริงยาว ๆ ให้ปวดหัว อย่างเช่น C_3S หรือ Tricalcium Silicate นั้นมีชื่อจริงหรือสูตรทางเคมีว่า $3 CaO \times SiO_2$ เห็นไหมครับว่ามีอะตอม C หรือ Cao อยู่ 3 หน่วย มี S หรือ SiO_2 อยู่ 1 หน่วย ง่ายมัยง่ายมัย.....

.....คุณ อาจจะยังงง ๆ เหมือนที่ผมเคยงงว่าทำไมเราจะต้องไปรู้ไอ้เจ้าสมการหรือสูตรเคมีพวกนี้ด้วย ละ ตอนเรียนเคมีก็ปางตายมาแล้ว.....ยังจะให้ทุกขัยากอีกหรือ.....ขอตอบอย่างที่ อาจารย์ผมเค้าเคยตำพวกผมมาแล้วยังงี้ก็แล้วกัน

“เคย ได้ยินชื่อนักปราชญ์จีนชุนวูไหม เขาบอกว่ารู้เขารู้เรา รบ 100 ครั้ง ชนะ 100 ครั้ง ถ้ารู้เราอย่างเดียวโอกาสชนะลดลงเหลือครึ่งนึง นั่นเค้าะหมายความว่า ถ้าเธอรู้จักคอนกรีตอย่างดี มีความรู้พื้นฐานวัสดุที่เป็นองค์ประกอบอย่างทะลุปรุโปร่ง เธอจะ “Engineer” มัน ให้มันเป็นอย่างที่ยากได้ยังไงก็ได้ แต่ถ้าเธอไม่รู้จักมันให้ดีล่ะก็ เธอเค้าะเป็นแค่ช่างปูนฝีมือแย ๆ ทำได้แค่ตามแต่เขาบอกเท่านั้น”

ปฏิกิริยา....ที่เป็นความต่าง

วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine



อย่างที่ผม”ฟอย”ละครับว่า ปูนซีเมนต์นี้มันทำปฏิกิริยาดีดีกับน้ำ ...ซึ่งเกาะมาจากผลของสารแต่ละตัวนะแหละครับ.....ที่นี้ไอ้เจ้าสารพวกนี้มันมีคุณสมบัติต่างกันนะครับ...แถมปฏิกิริยาของไอ้เจ้าสารพวกนี้จัดเป็นพวกคายความร้อนด้วย นอกจากจะทำปฏิกิริยาต่างกันแล้วยังคายความร้อนออกมาจำนวนไม่เท่ากันอีกอีก ด้วย ถ้าจับเอาไอ้เจ้าสารบริสุทธิ์แต่ละตัวมาทำปฏิกิริยาแข่งกัน เราเกาะจะพบว่าตัวที่เป็นนักกีฬายอดเยี่ยม.....คือทำปฏิกิริยากับน้ำเร็ว สุด นี้คือ C_3A รองลงมาคือ C_3S ถัดไปเป็น C_2S แล้วก็ C_4AF ลองดูตารางเปรียบเทียบเล่น ๆ นะครับ...เห็นไหมครับว่า C_3A ทำปฏิกิริยาเร็วสุด แถมให้ความร้อนมากที่สุด.... แต่โชคดีนะครับที่มันมีนิดเดียว แต่แค่นิดเดียนี่ก็แย่มากแล้วครับ เพราะมันจะเกิดปฏิกิริยาเร็วซะจนเราต้องเติม Gypsum ลงไปนิดหน่อยตอนผลิต

ซีเมนต์ที่ผมเล่าไปแล้ว.....เพื่อควบคุมไม่ให้ปฏิกิริยารวดเร็วปานกามนิคหนุ่ม¹⁰ ซะจนเราใช้คอนกรีตไม่ได้ใจครับ แถมซีเมนต์นี้ ถ้าคิดสารระตะแล้วคุณก็จะปวดหัวไม่แพ้ตัวคอนกรีตละครับ เพราะเติมอะไรมากไปน้อยไปนี่....ก็ไม่ดีทั้งนั้น ต้องเติมลงไปพอดีพอดีเท่านั้น เอาไว้ตอนหลังผมค่อยคุยก็แล้วกันว่า.....มากไปเป็นไง น้อยไปเป็นไง.....

สารองค์ประกอบ	ปริมาณ%	ปฏิกิริยา	ความร้อน	ปริมาณความร้อน	ผลต่อกำลัง
C_3S	50	สูงปานกลาง	สูงปานกลาง	120	สูงมากช่วงแรก
C_2S	25	ต่ำ	ต่ำ	62	สูงช่วงหลัง
C_3A	12	สูงมาก	สูงมาก	207	ต่ำ
C_4AF	8	ปานกลาง	สูงปานกลาง	100	ต่ำ
Gypsum	3 – 5				

จะเกิดอะไรขึ้น....ถ้าคุณใช้ปูนซีเมนต์แบบ”ชื่อใสไม่รู้เรื่อง”

....นั่นนะซีครับ....ถ้าเราใช้ปูนซีเมนต์แบบชื่อใสไม่รู้เรื่องรู้อะไรจะเกิดขึ้น....

จากตาราง คุณก็จะเห็นว่าตัวที่ทำปฏิกิริยาได้เร็วรองลงมาคือ C_3S เข้านี้เค้าคายความร้อนออกมาถึง 120 แคลอรี/กรัม ซึ่งสูงเป็นอันดับสองเชียวนะครับ...แถม C_3S นี้ เผลอมีตั้ง 40-50 เปอร์เซ็นต์ (ขึ้นกับชนิดของซีเมนต์นะครั๊บบ)...เพราะฉะนั้นมันก็เลยเป็นของธรรมดาว่ามัน ต้องมีผลต่อซีเมนต์...(และคอนกรีตแห่งๆ)...พอคุณผสมคอนกรีต แล้วมันก็จะคายความร้อนออกมา...ทีนี้ถ้าคุณเทคอนกรีตบางๆ อย่างพื้นหรือถนน หรือลานกว้างๆ...คุณก็จะไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องความร้อนสะสมเท่าไร...ก็เพราะคอนกรีตที่คุณเทไว้ หนาไม่มากนัก... มันถ่ายเทความร้อนได้ทัน (...แต่อย่าเพิ่งดีใจเชียว...มัน อาจจะมีปัญหาอื่นๆ มาแทน...) แต่ถ้าคุณไปเทฐานรากหนาๆ หรือเขื่อน คราวนี้เรื่องร้อนๆ ก็จะพาให้คุณใจสั่นได้แน่ๆ...เพราะ...เจ้าคอนกรีตนี้เป็นตัวนำพาความร้อนที่ค่อนข้างแย่มากๆ พอความร้อนเกิดขึ้นภายในหน้าตัดหนาๆ มันก็จะคายสู่ผิวหน้าได้ช้ามาก ความร้อนก็จะสะสมมากขึ้น มากขึ้น...คุณนึกภาพออกไหมครับว่า คอนกรีตหนาๆ นี้ความร้อนที่สะสมอาจทำให้อุณหภูมิภายในสูงได้ถึง 70-80 องศาเซลเซียสเชียวนะครับ ทีนี้มันจะเกิดอะไรตามมาล่ะครับถ้าไม่ใช่ Thermal Stress¹¹ แล้ว Thermal Cracking¹² ก็ตามมา...ถ้าคุณไม่คิดไว้ก่อนกิจการของบริษัทขายยาแก้ปวดหัวต้องรุ่งเรื่องแห่งๆ เค้าจะทำยังไงล่ะน้ำ...คือซีครับ เค้าก็ใช้ปูนซีเมนต์ชนิดที่มี C_3S น้อยลง เพิ่ม C_2S ให้มากขึ้น แต่บางทีก็ยังคงลดความร้อนไม่ค่อยจะพอ...อย่างเขื่อนภูมิพล¹³ ที่เค้าใช้ปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนน้อยๆแล้วยังต้องใช้เทคนิคอย่างอื่นเข้ามา เป็นตัวช่วยไงครับ...อย่างฝังท่อให้น้ำเย็นไหลผ่านจนควบคุมอุณหภูมิภายในให้ ต่ำลงได้ตามต้องการ แล้วค่อยอัดน้ำปูนอุดหรือเกราท์ช่องว่าง...หรือผสมเกร็ดน้ำแข็งในส่วนผสมไป ครับ...

แต่ พูดยังพูดหะ...ปูน ซีเมนต์ที่พิเศษๆนี้ขายก็ยากใช้ไหมครับ ตอนหลังเค้าเลยไม่ค่อยจะผลิตยกเว้นคุณจะมีอภิมหาโปรเจกต์แล้วสั่งทีละ เยอะๆ...พอหาซื้อยาก คนใช้ก็จะเลยหันไปหาทางเลือกใหม่ คือเอาสารตัวอื่นอย่างพวกเกลือ¹⁴ ผสมซะเลย...ลด การใช้ซีเมนต์ ลดราคาค่าซีเมนต์เพราะเกลือนี้ถูกกว่าเป็นไหนๆ ตะกอนนี้เขาแจกฟรีเสียด้วยซ้ำ...แถมยังให้

ความร้อนต่ำบวกกับคุณสามารถเช็ค หน้าบอกคนอื่น ๆ ได้ด้วยว่า...เราเป็นพวกอนุรักษ์
สิ่งแวดล้อมนะฮ้า...เห็นไหมครับยิ่งกระสุน น้ดเดียว...ความจริงเรียกว่ายี่ห้อหนึ่งสะตึกหนึ่งเดียวได้
นึกเป็นฝูง...ว่าแต่คุณ รู้จักยี่ห้อหนึ่งสะตึกหรือเปล่าครับ?..

ส่วน C_3A อันนี้อาจจัดเป็น “ตัวแสบ” ได้ ในกรณีที่พระเอกของเรา...คอนกรีตนะ
แหละครับ... ไปตกระกำลำบากอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ “มีค่อยจะดี” “อย่างเช่นมีซัลเฟตเยอะๆ...
ถ้าเป็นอย่างงั้น...เราเก๊าะต้องเลือกซีเมนต์ที่มี C_3A น้อยๆ อย่างซีเมนต์บางชนิดที่มาตรฐาน
กำหนดให้มีปริมาณซัลเฟตสูงสุดแค่ 5%...ว่าแต่คุณรู้ไหมครับว่าสภาพแวดล้อมอย่างไรที่
จัดเป็นสภาพที่ “มีค่อยจะดี”...Quiz ครับ Quiz.....

เห็นละยังครับว่า...รายละเอียดต่างๆ มันสำคัญอย่างงี้...

ชนิดของปูนซีเมนต์

ว่าแต่ผม “ฟอย” ให้คุณฟังละยังละครับว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นี้เค้าแบ่งเป็น 5
ชนิดอย่างนี้ครับ

ชนิดที่ 1 เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้กับโครงสร้างทั่วไป **ชนิดที่ 2** ปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์ที่ให้ความร้อนปานกลาง **ชนิดที่ 3** เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ให้กำลังสูงในช่วง
ต้น **ชนิดที่ 4** เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ให้ความร้อนต่ำ **ชนิดที่ 5** เค้าจัดอยู่ในพวกปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟต

.....ปูนซีเมนต์แต่ละชนิดมีปริมาณสารองค์ประกอบ กับความละเอียดต่างกันเนาะ
ครับ...ซึ่งทั้งสองอย่างมี ผลต่อพฤติกรรมของซีเมนต์...และคอนกรีตด้วยเต็มๆ แต่สมัยนี้ทั้งบ้าน
เรา (และบ้านคนอื่น) ผลิตกันอยู่ 2-3 ชนิด เท่านั้นละครับ ยกเว้นจะได้ “ออเดอร์” หรือคำสั่งซื้อ
เฉพาะเป็น Lot ใหญ่ๆ ถึงจะมีอย่างอื่นให้ใช้ ปูน ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่หาได้ทั่วไป
เก๊าะคือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่หนึ่งกับชนิดที่สาม ส่วนชนิดที่ห้านี้เค้าทำสงคราม
โฆษณาขายกันอยู่พักนึง ใจครับ แต่ละชนิดนี้มีหลายยี่ห้อ หลายตรา ให้เลือกใช้สุดแต่ว่าคุณจะ
เป็นแฟนใคร ใจครับ....

มาคูตาราง¹⁵ ข้างล่างกันใหม่ครับ... นอกจากจะต่างกันในความมากน้อยของสารองค์ประกอบ กับความละเอียด...ปูนซีเมนต์แต่ละชนิดยังมีคุณสมบัติต่างกันอีก อย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 3 ที่ให้กำลังสูงในช่วงต้นนะครับ...เจ้านี่ละเอียดกว่าเพื่อน¹⁶ แกรมยังมี C₃S เพียง...มากถึงประมาณ 60% เลยให้กำลังแรงในช่วงต้น....แต่ตอนปลายก็จืดๆ แหะละครับ...เค้าเลยชอบเอาไปใช้กับงานที่อยากจะถอดแบบเร็วๆ...อยากให้โครงสร้างรับน้ำหนักเร็วๆ เพื่อถื่นนั้นแหะละครับ....แต่ มีได้ก็จะต้องมีเสีย...มีหนังสืออยู่เล่มนึงเค้าบอกว่าในโลกนี้ไม่มีอะไร ที่ได้มาฟรีๆ...ผมว่าจริงนา...ยกเว้นอย่างเดียวคือความรักของพ่อแม่ครับ

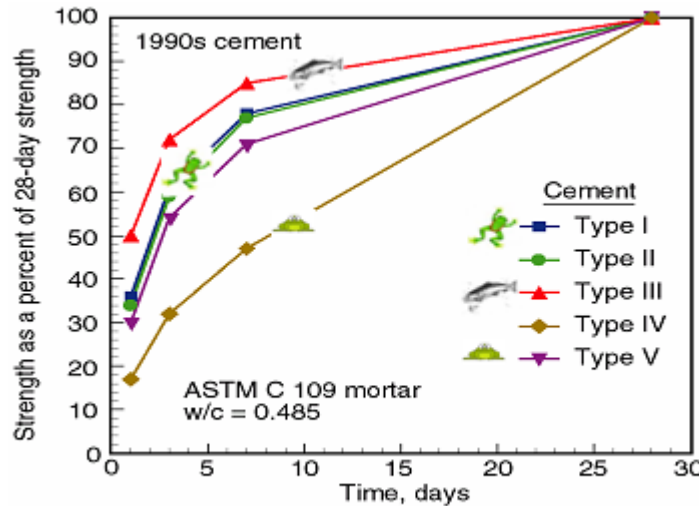
...นอกจากพ่อแม่จะให้ความรักมาฟรีๆ แล้ว ยังมีอุปกรณ์ประกอบตั้งมากมายซะนับไม่ถ้วนเลย...คุณเห็นด้วยกะผมไหม

ชนิด	ชนิดที่ 1	ชนิดที่ 2	ชนิดที่ 3	ชนิดที่ 4	ชนิดที่ 5
C ³ S(%)	50	45	60	25	40
C ² S(%)	25	30	15	50	40
C ³ A(%)	12	7	10	5	4
C ⁴ AF(%)	8	12	8	12	10
Gypsum(%)	5	5	5	4	4
ความละเอียด (เบลน, ม ² /กก)	350	350	450	300	350
ความร้อน(@7วันJ/g)	330	250	500	210	250

วารสารคอนกรีต TCA e-magazine



กลับมาดูคอนกรีตของเรากันดีกว่า...มีได้แก่จะต้องมีเสียใช้ใหม่ครับ ลองดูรูปข้างล่างก่อนนะ
ครับ



คุณลองเทียบซีเมนต์ชนิดที่ 1 ที่มีทั้ง C_3S 50% กับ C_2S 25% กับชนิดที่ 3 ที่มี C_3S 60% กับ C_2S 15% ดูสิครับ...แล้วคุณก็จะแจ่มแจ่มเหมือนผมว่าทำมัยปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1 ถึงได้ “slow but sure” ก็เพราะปริมาณ C_3S ต่ำกว่า มี C_2S มากกว่าไงครับ แถมยังละเอียดน้อยกว่า...คือหยาบมากกว่า ปฏิกิริยาเกาะเลยช้ากว่าปูนซีเมนต์ชนิดที่ 3 เป็นธรรมดา แต่อย่าไปดูถูกเขานาครับ...เพราะเวลาผ่านไปกำลังก็ยิ่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เห็นไหมครับ.... ขณะที่เจ้าปูนซีเมนต์ชนิดที่ 3 นี้กำลังเพิ่มน้อยลงหลังจากอายุ 14 วันไปแล้ว... ส่วนอีกสามชนิดที่เหลือ ก็จั้น จั้น แหละครับ...จั้น จั้น แปลว่าผมมีรายละเอียดนี้ดคค...หน่อย ค่าที่มันหายากในท้องตลาด...หายากกว่าปกตินะครับ แต่บางชนิดคุณเหลือบตาไว้มั่งก็ดีเหมือนกัน...ค่าที่เราเห็นโฆษณากันเยอะ ใจครับ...อย่างชนิดที่ห้า พวกด้านทานซัลเฟตได้ดีกว่าชนิดอื่นๆ ค่าก็จะมีปริมาณ C_3A ต่ำกว่าชนิดอื่นๆเยอะ...มีแค่ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

พอเรา “รู้จัก” กับรายละเอียดซีเมนต์แล้ว ผมก็ถึงบางอ้อ...ว่าทำมัยอาจารย์เค้าถึงได้ “ปากเปียกปากแฉะ” พยายามเล่าให้เราฟังว่าไอ้เจ้าเบื้องหลังกระบวนการผลิต สารองค์ประกอบ และอื่นๆ นี่มันมีความสำคัญยังไง...เห็นด้วยไหมครับ...อ๊ะ อ๊ะ แล้วคุณรู้หรือยังว่า

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>

ปูนซีเมนต์แอสแตติ (ชนิด) ที่หนึ่ง มียี่ห้ออะไรบ้าง...ชนิดที่ 3(ประเภทเปิดปูป ติคปูป) มี
อะไรบ้าง...คุณต้องรู้อะไรบ้าง ไม่งั้นเวลาคุณจะสั่งคอนกรีตคุณจะเลือกยังไง...

องค์สาม ปฏิกริยาต้นกำเนิด... “ยุทธจักรมังกรฟ้า”...เมื่อซีเมนต์เจอกับน้ำ

...ผมอยากเริ่มอย่างนี้ครับ...แล้วสรรพสิ่งที่อุบัติ...ฟังแล้วหือหือใหม่ครับ...แต่มัน
ก็เป็นหยั่งงั้นจริง ๆ...คุณ Neville¹⁷ คุณ Mindess¹⁵ คุณ Jolicoeur กะคะ¹⁸ ...คุณ คนหลังนี้คุณ
ออกชื่อเอาเองเหอะครับ...ขนาดผมเอาหัวจุ่มลงไป ในตุ่มตีสังกาออก เสียงยังไม่รู้ว่าเขาออก
เสียงชื่อว่าอะไรเลย...คุณ ๆ ที่ผมเอ่ยนาม (และที่ไม่ได้เอ่ยนามอีกเพียบ) ล้วนอธิบายการอุบัติของ
สรรพสิ่ง...เมื่อซีเมนต์พบกับน้ำยังงี้ครับ....

เมื่อ น้ำทำให้ซีเมนต์เปียก (อันนี้แหงละครับ) แล้วสารพดอนุภาคต่างๆ ของสาร
องค์ประกอบก็ค่อยละลายออกมาอยู่ในรูปของไอออนหลากหลาย...สะ...ปี...ซี... หรือหลายสายพันธ์
ไปครับ ...อย่างเช่น โซเดียมไอออน (Na^+) โพแทสเซียมไอออน (K^+) แคลเซียมอิ
ออน (Ca^{2+}) ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) หรืออลูมินาไอออน (Al^{3+})พอ
สารละลายมีไอออนพวกนี้มากพอ วงเล็บเป็นน้ำขิงแก่...แะ...แะ...มันก็จะเริ่มก่อตัวเป็นชั้น
บางๆ บนผิวเม็ดซีเมนต์ในลักษณะที่อาจเป็นทั้ง Amorphous คือไม่มีรูปทรงแน่นอน.....หรือ
อาจจะเป็น Gel Product ก็ได้.... หลังจากนั้นในช่วงว่างระหว่างสารละลายกะของแข็งพวกนี้...
สรรพสิ่งอื่นๆ ก็อุบัติตามมา อาทิเช่น อาจเกิดกระบวนการ Nucleationคือมีจุดเริ่มต้นก่อตัว
แล้ว Hydration Product อื่นๆ ก็เกิดขึ้นตามมา กระบวนการพวกนี้อาจเกิดได้ทั้งในสารละลาย
หรือบริเวณรอยต่อระหว่างของแข็งกับ สารละลายก็ได้...พอมันมีก้าวแรกแล้วละก็ ก้าวอื่นๆ ก็
ตามมาละครับ...ผมหมายความว่า...ไฮดรเจนโปรคักส์อื่นๆ ก็เกิดเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ขึ้นกับความ
ความเข้มข้นของสารละลายเป็นยังไง มีน้ำ มีไอออนมากน้อยแค่ไหนในจุดนั้น ๆ มีพลังงานที่จะ
ทำให้เกิดกระบวนการมากน้อยแค่ไหนแล้วเก๊าะมีสิ่งจำเป็นอื่นๆ สำหรับการเกิด
ผลึกมี... (อาทิเช่น ผลึกข้างๆ หรือผลึกเพื่อนบ้านมีการอัดแน่นมากน้อยแค่ไหน) ฟังแล้วมี
ใหม่ครับ...เออ... ผมสรุปง่ายๆ ก็แล้วกันว่า การเกิดปฏิกิริยาของพระเอกนางเอก (ซึ่งก็คือซีเมนต์
กับน้ำ) นี้แยกออกเป็นบันไดห้าขั้นอย่างนี้ครับ... (เหมือนขบวนการเสริมสววยังไงยังงั้น).....

บันไดห้าขั้น

...บันได ขั้นแรก เป็นขั้นก่อนปฏิกิริยาก่อนครีบ...เหมือนคุณสบตากับสาวใจใคร่ พอคุณรู้สึกโดนใจ...อันนี้เร็วใช่ไหมครับ...ซีเมนต์ก็เหมือนกันแหละ ขั้นนี้เวลาแป๊บเดียวคือประมาณ 15 นาที...เค้าเรียกว่าขั้นเริ่มต้น หรือเริ่มต้น หรือ Initial Stage¹⁹ ในขั้นนี้ ความรักเอ๋ย ความร้อนล้นปรี...ครับ ถ้าจะวัดปฏิกิริยาอย่างง่าย ๆ เขานิยามวัดด้วยความร้อนที่ปฏิกิริยาคายออกมา ในขั้นนี้แรกนี้ความร้อนพุ่ง

จู่ด พอตอนปลายๆขั้น ผิวอนุภาคซีเมนต์ก็จะถูกเคลือบด้วยผลิตภัณฑ์ไฮเดรชัน...ชะงะจนการทำปฏิกิริยา ช้าลงมากในขั้นนี้ตัวเอกที่ไวไฟกว่า เพื่อนคือ C₃A ครับ

ขั้นที่สอง เป็นขั้นพักตัวครับ...เค้าเรียกว่า induction period หรือ dormant period...พัก เก๊าะแปลว่าอยู่เฉย ๆ ...รอก่อนว่าจะเอาใจดี...อันนี้ผมพูดเอง...ปฏิกิริยาต่าง ๆ ส่วนใหญ่ยังนิ่งๆ อยู่ เป็นช่วงที่สารองค์ประกอบต่าง ๆ เริ่มปล่อยอไอออนออกมาใจใคร่ ถ้ามี Gypsum น้อยไปอาจเกิด flash set²⁰ ช่วงนี้จะกินเวลาระหว่าง 15 นาที ถึง 4 ชั่วโมง ถ้าเป็นคอนกรีตก็จะเป็นช่วงที่คอนกรีตยังเหลวอยู่สามารถทำงานได้..... ในช่วงนี้จะอะไรจะขึ้นกับปริมาณแล้ว ก็อัตราส่วนของสารที่เป็นองค์ ประกอบทั้งของซีเมนต์หรือสารผสมเพิ่มที่เติมในคอนกรีต รวมถึงปฏิกิริยา ระหว่างซีเมนต์กับสารผสมเพิ่มด้วย ตัวนั้นมากไป ตัวนี้น้อยไปพวกนี้มีผลต่อพฤติกรรมกรไหลแล้วก็การก่อตัวทั้งนั้นละครับ

พอความเข้มข้นของอไอออนได้ที่...ก็มาถึงขั้นเกิดปฏิกิริยาต่อละครับ ช่วงนี้เป็นขั้นที่ 3

ขั้นที่ 3 เค้าเรียกว่า ช่วงเร่งและก่อตัว หรือ acceleration and setting...."why?" อาจารย์ผมเค้าชอบถามยั้ง...

ขั้นนี้ก็คล้าย ๆ ยั้งยั้งแหละครับ...พอสารละลายมีอไอออนมากพอจนถึงระดับหนึ่ง....ก็จะเริ่มเกิดปฏิกิริยาในช่วงแรกอย่างรวดเร็ว ตอนหลังจะช้าลง ผลิตภัณฑ์ไฮเดรชัน ทั้งจากที่เกิดบนผิวเม็ดซีเมนต์ และที่เกิดในสารละลาย เริ่มโตขึ้น แทรกช่องว่างที่เดิมเคยมีน้ำเต็มไปหมด มากขึ้นทุกที ช่วงที่ 3 นี้กินเวลาซัก.....ประมาณ 4-8 ชั่วโมง

แล้วก็มาถึงขั้นที่สี่ ขั้นนี้ปฏิกิริยาที่จะช้าลง...ช้าลง กินเวลาประมาณ 8 – 24 ชั่วโมง
เค้าเรียกว่าช่วงช้าและเริ่มแข็งตัว...ทำไมนะหรือครับ...ก็ไอ้เจ้าผลิตภัณฑ์ ไฮเดรชันส่วนหนึ่ง
มันเกิดบนผิวอนุภาคซีเมนต์ไซ้ใหม่ครับ พอความหนาแน่นเพิ่มขึ้น...น้ำก็จะแทรกซึมเข้าไปทำ
ปฏิกิริยากับซีเมนต์ภายใน ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาได้ช้าลง ช่วงนี้แหละครับที่จะเป็นตัวบอกถึง
อัตราการพัฒนากำลังในช่วงต้น

จากนั้นก็เข้าสู่ขั้นที่ห้า หรือที่เค้าเรียกว่า Curing Condition ช่วงนี้เป็นช่วงอายุ 1 –
28 วันแต่หนังสือบางเล่มนะครับ ¹⁵ (เห็นใหม่ครับว่าผมก็มีการค้นคว้าเปรียบเทียบเหมือนกัลล์
...ไม่ได้โม้เลย ๆ...แฮะ...แฮะ) เขาพูดถึงแต่สี่ขั้นตอนสำคัญเท่านั้นละครับ

คุณสงสัยไหมละครับว่า “ลูกคุณช่างรู้” เค้ารู้ได้ยังไงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นซักเท่าไร
แล้ว..... ปฏิกิริยานี้วัดยากครับ เค้าเกาะเลขดูจากผลลัพท์ที่วัดได้ง่ายหน่อย คือวัดจากความร้อน
ที่คายออกมา ...เพราะความร้อนที่คายออกมามีค่าสอดคล้องใกล้เคียงกับปฏิกิริยาที่
เกิดขึ้น เค้าวัดโดยใช้ Conduction Calorimeter หรือบางทีเค้าก็ใช้ Thermogram ที่ สามารถใช้เป็น
เครื่องมือบอกถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น แถมยังเอามาประยุกต์ใช้กับการดูผลกระทบของสารผสม
เพิ่มต่อปฏิกิริยาไฮเดรชัน ด้วยนะครับ

เราอาจจะสรุปได้ง่ายๆยังงี้...ตามความเห็นของผมนะครับ...ว่าการเกิดปฏิกิริยา
เกิดของซีเมนต์กะน้ำนี่คล้ายๆกับคุณมีเม็ดแมงลักช้อนนึง...ใส่ลงในน้ำ 1/4 ของแก้ว ตอนแรก
ๆ คุณยังเขย่าแก้ว แล้วน้ำจะระลอกอยู่เลย.... แต่พอเม็ดแมงลักพองขึ้นเรื่อย ๆ จนมันชนกัน
ตอนนี้คุณเขย่ายังไงน้ำก็ไม่ระลอกแล้วนะครับ เพราะในแก้วของคุณเกาะเต็มไปด้วยแมงลัก
พอง ๆ ชนกัน...ผลิตภัณฑ์ไฮเดรชันเกาะเหมือนกันคือมันค่อยๆ พัฒนาขึ้นจนชนกันแล้ว
มันเกาะจะหยุดพัฒนาซะคือๆ.....

²⁰ flash set เป็นปฏิกิริยาระหว่าง C_3A กับน้ำ เกิดขึ้นเร็วมาก ทำให้เพสต์ก่อตัวเร็วซึ่ง
เป็นผลเสียต่อการทำงาน เค้าเลยเติม Gypsum เพื่อช่วยหน่วงปฏิกิริยา แต่ถ้าอัตราส่วน C_3A /
Gypsum สูง ก็มีโอกาสเกิด flash set ได้ เนื่องจากการเกิด excessive nucleation และเกิดการ
พัฒนา Calcium aluminate hydrate อย่างเร็ว

...เป็นไงครับ...สนุกไหม...ตื่นได้แล้วครับ...ก๊วยเตี๋ยวเสร็จพร้อมรับประทานแล้ว

...

ผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชันและโครงสร้างภายใน

...เป็น ไงครับ... ก๊วยเตี้ยวอร่อยไหม... ก๊วยเตี้ยวเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำ ย่อย... เกิดเป็นอะไรทราบไหมครับ... ความว่างในคอนกรีตที่เขาบอกว่าหนัอง ติงหนัองตาหย่อน...

...แต่ผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เป็นผลจากการพบกันของน้ำกะซีเมนต์เกิดเป็นหลายอย่างครับ... เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)_2 หรือเรียกง่าย ๆ ว่า CH... แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต หรือ C-S-H.... เอ ทริงใจท์ ทั้งที่อยู่ในรูปเสถียรและไม่เสถียร.. อันนี้เป็นผลิตภัณฑ์หลักๆ นะครับ.. นอกจากนั้นก็ยังมีอนุภาคซีเมนต์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาอีก... ไอ้พวกนี้รวม ๆ เรียกว่าเป็น Cement Matrix²¹ ... ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานหินกับทรายเข้าด้วยกัน... ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรง สามารถรับน้ำหนักได้ไรงครับ

พูดใหม่ครับว่า ไอ้เจ้าตัวเชื่อมประสานที่เป็นผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์หลายชนิดนะครับ.... ตัวหลักตัวแรกคือ Calcium Silicate Hydrate หรือเรียกง่าย ๆ ว่า C-S-H อย่างที่ผมบอกนะแหละครับ เจ้านี้เค้าเป็นผลพวงของปฏิกิริยาจาก C_2S และ C_3S เป็นของแข็งมีอยู่ซักประมาณ 50% - 60% ถ้าจะมองในสายตาของผม... เจ้านี้หน้าตาซีเห่ที่สุด ๆ ค่าที่ไม่มีรูปร่างแน่นอนอาจเป็น fibrous มั่งก็ได้ ภาษาปะกิดเค้าเรียกว่า amorphous... ไม่มีใครรู้ส่วนประกอบที่แน่นอน แดมยังมีผู้รู้¹⁵ บอกซะอีกว่า... มันอาจมีหลายชนิดด้วยนะฮ้า... ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ Calcium ต่อ Silica... หะอะครับมันจะมีก็ชนิดก็ช่าง... เรื่องมันจะยาวมากไปถ้าผมมั่วมา “ฟอย” เรื่องนี้ แต่ที่สำคัญคือเจ้านี้ถึงจะรูปไม่งาม(แต่นามเพราะ สมัยหนึ่งเค้าเรียกเจ้านี้ว่า Tobomerite gel) แต่ก็ทำหน้าที่สำคัญมากสำหรับคอนกรีต นั่นก็คือเป็นตัวให้กำลัง..... ที่คอนกรีตรับกำลังได้ดีก็เจ้า C-S-H นี้ ละครับเป็นตัวหลัก แดมเจ้านี้ยังคงทน ละลายน้ำยาก ถูกกัดกร่อนได้ยาก เก๊าะเลยเป็นตัวสำคัญที่ทำให้คอนกรีตมีความคงทนสูงซะอีกแล้วจะไม่เรียกพระ เอกได้งี้...

ตัวหลักที่สองคือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH)... แหมฟ้าประทานให้ C-S-H มาแล้วทำไมต้องแถมเจ้า CH มาด้วยก็ไม่รู้! เจ้านี้ต้องจัดว่ามีลักษณะเป็นรูปร่างน้อยละครับ... เพราะว่าเจ้าตัวนี้ล่ำบึ้ก มีขนาด 0.01 - 0.1 มม. ถ้าเทียบกับ C-S-H ที่มีขนาดประมาณ 5-2x0.2 ไมครอน²² เท่านั้น แดม มีสารองค์ประกอบกะรูปร่างหน้าตาที่แน่นอน... คือ

เป็นรูปหกเหลี่ยมขนาดค่อนข้างใหญ่ นอกจากนั้นยังใจเสาะ ละลายน้ำได้ง่าย ไม่ค่อยทนทานต่อสารเคมี...แถมไม่มีผลต่อการรับแรงของคอนกรีตซะอีก...เฮ้อ...

โดยทั่ว ๆ ไปนะครับ...คอนกรีตจัดว่ามีคุณสมบัติละลายน้ำได้ต่ำมาก แต่เมื่อเทียบในหมู่ผลิตภัณฑ์ไฮดรเจนด้วยกันแล้ว CH นี้ละลายน้ำได้ง่ายสุด ๆ...ฟังแล้วเป็นไงครับ..

เจ้าสารทั้ง 2 ตัวทั้ง CH กับ C-S-H นี้เป็นผลมาจาก C_3S กับ C_2S ทำปฏิกิริยากับน้ำครับ...ทั้ง C_3S กับ C_2S นี้ให้ปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์คล้าย ๆ กัน แต่ต่างกันที่ปริมาณ CH และความร้อน...เห็นละยังครับว่าทำไมเราต้องรู้เกี่ยวกับซีเมนต์ลึก ๆ หน่อย...

ผลิตภัณฑ์อีกตัวหนึ่งที่ผมอยาก “โถ้งแล้วผายมือ” แนะนำให้คุณรู้จักก็คือ แคลเซียม ซัลโฟลูมิเนต²³ หรือ Ettringite ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของ C_3A กับ Gypsum..... ใ้เจ้ามันนี้มันไม่ค่อยอยู่ร่องกระรอยซักร่องเท่าไร แถมยังร้ายอีกตะหาก.....ที่ผมว่าไม่ค่อยอยู่กับร่องกับรอย เอ๊ย กระร่อง กระรอย.....ก็เพราะมันเปลี่ยนไปมาได้ง่ายง่ายขึ้นกับว่าคุณมี C_3A มากน้อย ซักร่องเท่าไร เติมยิบซั่มลงไปทำปฏิกิริยา “ซัดคอก” พอใหม่.....คือถ้าคุณมียิบซั่มมากพอ (อัตราส่วน/ C_3A เท่ากับ 3) คุณก็จะได้ Ettringite ซึ่งมีรูปร่างเป็นผลึกคล้าย ๆ แท่งหกเหลี่ยม แต่มีค่า Aspect ratio²⁴ มากกว่าผลึก CH มาก แต่โดยทั่ว ๆ ไปถ้าดูจาก SEM²⁵ ก็ จะเห็นเป็นเหมือนแท่งเข็มยาว ๆ เท่านั้น (ดูรูปเปรียบเทียบนะครับ) ที่สำคัญกว่ารูปร่างเป็นไหน ๆ ก็คือถ้ามันไม่เสถียร...เพราะมียิบซั่มน้อยไป มันจะเปลี่ยนรูปไปเป็น Monosulfo aluminat²⁶ ซึ่งเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว...แล้วก็เพี้ยน...พระเอกคอนกรีตของเราต้องไป อยู่ในสถานที่ที่ไม่ค่อยจะดี...อาทิ มีสาว ๆ เอ๊ย...ซัลเฟตเยอะ อย่างเช่นอยู่ในที่แหล่งน้ำใต้ดินมีซัลเฟตอันอุดม!...ซัลเฟตอ่อนก็จะค่อย ๆ ซึมผ่านเข้าไปในเนื้อคอนกรีต...ที่นี้พอไปเจอกับแคลเซียมซัลโฟลูมิเนต ไฮดรเจนที่มีซัลเฟตน้อย หรือมีชื่อเล่น ๆ ว่า Monosulfo aluminat²⁷ มันก็จะกระดี๊กระด๊าเข้าไปทำปฏิกิริยานะซีครับ...ผลเป็นไงเหอ...เราจะได้ Ettringite ใหม่ นะซีน้ำ²⁸ ที่นี้ใ้เจ้า Ettringite พวกนี้นะมันปริมาณมากกว่าผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมตั้งกว่า 40 ถึง 250 เท่า (ขึ้นกับว่าปฏิกิริยามันเป็นยังไงนะครับ)²⁹มัน ก็จะขยายตัวนะซีครับ...พอมันขยายตัวท่ามกลางคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว คอนกรีตรอบ ๆ รับแรงไม่ได้ก็แตกร้าวนะซีครับ...นี่ก็เป็นแบบที่นักคอนกรีตวิทยาเค้า เรียกกันว่า การกัดกร่อนทำลายด้วยซัลเฟต (Sulfate Attack) ใจครับ

ผลิตภัณฑ์ไฮดรเจนที่ผมพูดถึง 3 ชนิดนี้ เป็นตัวหลักนะครับ...ตัวรองผมเลยไม่พูดถึงดีกว่า...เพราะเรื่องมันยาวว...

ช่องว่างในคอนกรีต

...โครงสร้างภายในของคอนกรีต ประกอบด้วยเฟสที่ซึ่งก็จะทำหน้าที่เหมือนกาวเชื่อมยึดโยงหินกับทรายเข้าเป็น โครงข่ายใหญ่ที่แข็งแรง (แะะ แะะ... ในตอนหลังนะครับ) สามารถรับแรงได้ตามที่คุณต้องการ

นอกจากส่วนที่เป็นเฟสที่ประกอบไปด้วย CH กับ C-S-H แล้วก็ Ettringite สามทหารเสือ หรือ “Three Musketeers” ที่เล่ามานี้แล้ว ...ความจริงเนื้อที่บ ีๆ ของคอนกรีตที่เราเห็นจาก “ลูกกะตา” เปล่า ๆ ของเรานี้ ข้างในมันจะมีโพรงเล็กโพรงน้อยหรือช่องว่างเต็มไปหมดนะครับ ทั้งชนิดที่ต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง³⁰แถมช่องว่าง ขนาดต่าง ๆ ที่แทรกอยู่ในซีเมนต์เฟสที่อีก

ช่องว่างในเนื้อคอนกรีตนี้มีหลายขนาดมากนะครับ ...ตั้งแต่ขนาดใหญ่ที่เค้าชอบเรียกกันว่าโพรงมากกว่าช่องว่าง...พวกนี้มักจะเกิดจากฝีมือทำงานที่ไม่ค่อยได้เรื่อง อย่างเช่นที่คนงานเค้าจี้ไม่ค่อยทั่ว พอแกะแบบออก (ว่าที่) นายช่างแทบเป็นลม เพราะมีโพรงเยอะเลย...โพรงพวกนี้มีขนาดเป็นมิล(ลิเมตร) หรือเป็นเซน(ติเมตร)เลยนะครับ³¹

แต่ถึงเค้าจะทำงานดียังไง ในเนื้อคอนกรีตก็ยังมีช่องว่างขนาดเล็กจนถึงขนาดจิ๋วแทรกอยู่แหละครับเค้าเรียกว่าโพรงคาปิลลารี³² โพรงพวกนี้มีขนาดตั้งแต่ สิบนานาโนเมตรถึงสิบบไมครอน³³ ถ้าขนาดจิ๋วลงมามากก็จะมีแทรกอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์ไฮดรเจนที่เรียกกันว่า Gel pore ไรครับ....พวกนี้มีขนาดตั้งแต่สิบบไมครอนลงมาถึงเล็กกว่า 0.5 นาโนเมตร....เฮ้อออ...

ช่องว่างพวกนี้ไม่ได้เป็นของแถมเปล่าๆนะครั๊บบ...ของแถมพวกนี้มีผลต่อสารพัดคุณสมบัติของคอนกรีตเต็มๆเลย....ทั้งกำลัง ความซึมได้ แล้วก็การหดตัว การคืบ ไปยาลน้อยและไปยาลใหญ่!

นอกจากโพรงหรือ Void ที่ผมว่านี่แล้ว ...แล้วก็มีส่วนที่เป็นรอยต่อระหว่างเฟสที่กับเม็ดหิน เม็ดทรายอีก ...ยังไม่จบครับ ยังมีปูนซีเมนต์ส่วนที่ยังไม่ได้เกิดปฏิกิริยา... ที่เค้า

วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine



เรียกว่าเป็น Unhydrate ซีเมนต์อีก... คร้าบ...คุณเข้าใจถูกแล้วละว่าปฏิกิริยาที่ว่ามันถ้าจะเกิดอย่างสมบูรณ์ต้องใช้เวลาานานมาก.....ทราบไหมครับ คำว่า³⁴ ถ้าเอาซีเมนต์เม็ดหนึ่งทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างเต็มที่สุดๆเลยนะครับ คุณคิดว่าชั้นผิวที่เกิดปฏิกิริยาจะหนาซึกเท่าไร... จืดเดียว... 4 ไมครอน เท่านั้นเองนะครับสำหรับ 28 วัน ถ้าปล่อยให้ผ่านไปปีนึง ก็จะได้ความลึกเพิ่มเป็น 2 เท่า 8 ไมครอนครับ! เห็นไหมครับถ้าเวลาผ่านไปจนคุณแก่...ผมก็ว่าข้างในคอนกรีตก็ยังสามารถ ปฏิกิริยาอยู่นั้นแหละครับใครจะรู้...ผมไปอ่านเจอจากไหนไม่รู้คำว่าข้างใน เชื้ออนุเวอร์ในอเมริกา³⁵ ซึ่งสร้างมาตั้ง 76 ปีแล้ว...ข้างในยังคงมี “ปฏิกิริยา” ดำเนินอย่างต่อเนื่องอยู่เลยครับ!...

กล่าวโดยสรุปก็คือ ข้างในเนื้อคอนกรีตนอกจากจะมีผลิตภัณฑ์ไฮดรเจนอยู่เยอะแยะแล้ว...ยัง ใงยังใงก็มีส่วนของเม็ดซีเมนต์ที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา มีช่องว่างหลากหลายขนาด ที่อาจมีน้ำอยู่ข้างใน แล้วก็ยังมี หินทรายที่ยึดโยงด้วยซีเมนต์เพสต์อีกด้วย แถมยังมีรอยต่อระหว่างหินทรายกะเพสต์อีก...เห็นไหมครับว่ามันยุ่ง...

....แต่คุณลองทำยังงี้สิครับ...

ลองจับมันแยกเป็น 2 กองก่อน ที่เค้าเรียกว่า Two Phase Material ใงครับ คือกองแรกแยกเป็นหินกับทรายที่กระจุกกระจายอยู่ในกองที่สองคือซีเมนต์เพสต์ ทีนี้มันเกาะต้องมีความแตกต่างระหว่างวัสดุ 2 ชนิดใงมัย ใงมัย...นั่นเกาะคือบริเวณผิวรอยต่อที่ผมเกริ่น ๆ ไปนั่นแหละครับ ที่เขาเรียกว่า ITZ หรือ Interfacial Transition Zone³⁶ ใงเข้าบริเวณตรงนี้ทีมีคุณลักษณะที่ “แตกต่าง” ไปจากเนื้อคอนกรีตทั่ว ๆ ไป...อย่างเช่นมีความพรุนมากกว่า มีปริมาณ CH หรือ Ca(OH)_2 มากกว่า ผลึกของเจ้านี้เกาะใหญ่กว่าปกติด้วย มีรอยร้าวจิ๋ว ๆ เยอะแยะ...เค้าจัดว่าตรงบริเวณนี้เป็นบริเวณ “จุดอ่อน” ของคอนกรีตเลยเชียว..คุณ ลองคิดดูสิครับว่าพื้นที่ผิวหินกะทรายนี่มันเยอะไหม...โดยเฉพาะทราย...เพราะ ฉนั้นผมเกาะเลยเลิกสงสัยไปนานแล้วว่าทำไมคุณสมบัติของคอนกรีตของเรานั้นถึง ผันแปรไปได้มากมาย...คุณเห็นด้วยกะผมไหม...ถ้าเห็นด้วยพวกเรา (คุณกะผมใงครับ) จะปรับปรุงเปลี่ยนแปลงหรือ Engineerคอนกรีตยังงีละครับ เราต้อง “จัดการ” กะอะไรมั่ง แล้วจะวาง แผน “กำจัด” จุดอ่อนยังงีดี.....แล้วคุณเห็นละยังครับว่าทำไมผมถึงได้ไป “ค้น” เรื่องนี้มาเล่าให้คุณฟังตั้งยาว

วารสารคอนกรีต TCA e-magazine



ทันสมัย....ใหม่เสมอ

คุณฟังผมฝอย “ฝอย” เกี่ยวกับเรื่องปูนซิเมนต์มาตั้งยาว...แต่รู้ไหมครับว่าตอนนี้กำลังมีวัสดุอีกประเภทหนึ่งที่ได้ได้รับความสนใจจากผู้ชม..เอ๊ย จากนักคอนกรีตวิทยาทั่วโลก..เจ้านี้เค้ามีชื่อว่าจีโอ โพลีเมอร์³⁷ มีข่าวเล่าลืออีกว่า อีกว่า ปิรามิดในอียิปต์นี่ก็ทำจากจีโอ โพลีเมอร์³⁸.....จริงๆ แล้วเค้าศึกษา Geopolymer มานานพอควรแล้วละครับ แต่ตอนนี้เจ้ายุทธจักรสำนักต่าง ๆ ในเมืองไทยเริ่มหันมาสนใจ ซักประมาณ 3 – 4 ปี มาแล้วเห็นจะได้...อย่างสำนักที่ผมเป็นลูกศิษย์กันคุณก็จะมี 2 อาจารย์ ขะมักเขม้น (สั่งลูกศิษย์ให้ ...แะ แะ) ทำโน่นทำนี่ ตัวเป็นเกลียวหัวเป็นนอต (อย่างแรกนะลูกศิษย์นะครับ...อย่างหลัง แหมต้องเป็นอาจารย์!) ผมไปแอบดูพี่ ๆ เค้าผสมจีโอ (แหม..ถ้าเต็มเอ็นเข้าไปข้างหน้าจะทัน..ชะ...หมี มาก) ก็สนุกดีครับเรียกว่ามือเป็นระวิง (อันนี้แปลว่าอะไรไม่ทราบ) เพราะมันมี Setting time หรือระยะเวลาก่อตัวสั้นกว่าปูนซิเมนต์ปกติ....ตอนนี้เขากำลังคิดกันอยู่ละครับว่าจะยึดคดคด....มันออกได้ยังไง...เวลาก่อตัวนะครับ....ปล่อยให้เค้าคิดไปก่อนก็แล้วกัน....

.....เนื้อที่หมดแล้วครับ.....แล้วเจอกันใหม่ฉบับหน้าจะครับ.....

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>

¹ Durability หมายถึง ความทนทานต่อการแตกร้าวหรือเสื่อมสภาพ ที่เกิดจากวัสดุเอง หรืออาจเกิดจากความละเอียดในการทำงาน หรือเกิดจากการใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรงก็ได้

² Pantheon (อาคารปัจจุบัน) สร้างในปี 125 AD สมัยจักรพรรดิ Hadrian (หลังเดิมถูกไฟไหม้ในปี 80 AD) ใช้คอนกรีตโบราณที่มีความหนาแน่นสูงในบริเวณส่วนล่างและลดลงในส่วนบน เพื่อลดน้ำหนัก กำแพงมีความหนาต่างกันตั้งแต่ 6.4 ม. ที่ฐาน จนถึง 1.2 ม. ที่ส่วนบน

³ Joseph Aspdin ค.ศ. 1824 ใช้วิธีการเผาสารพวกซิลิกา และอลูมินาจนหลอมตัวเป็นสารประกอบใหม่ด้วยวิธีการเดียวกับการผลิตปูนซีเมนต์สมัยใหม่

⁴ Cement Kiln ในยุคแรก เริ่มพัฒนาในรัฐเพนซิลเวเนีย ในปี ค.ศ. 1890 มีขนาดเพียง 1.5 x 15m

⁵ สารเจือปนหรือ impurity

⁶ Reactive silica เป็นสารประกอบพวกซิลิกาที่มีความไวต่ออัลคาไลหรือด่างในปูนซีเมนต์สูง

⁷ Alkali Aggregate Reaction (AAR): เป็น การเสื่อมสภาพของคอนกรีตชนิดหนึ่งที่เกิดจากอัลคาไลในปูนซีเมนต์ ทำปฏิกิริยากับซิลิกาบางชนิดในมวลรวม เกิดเป็นเจลรอบ ๆ มวลรวม เมื่อมีความชื้นก็จะขยายตัวดันให้คอนกรีตที่อยู่รอบ ๆ แตกออก เป็นปฏิกิริยาที่ใช้เวลานานประมาณ 10 – 15 ปี บางทีเค้าก็เรียกว่า ASR หรือ Alkali Silicate Reaction เหมือนกัน

⁸ C_3S = Tricalcium silicate, C_2S = Dicalcium silicate, C_3A = Tricalcium Aluminate

C_4AF = Tetracalcium aluminoferrite

⁹ Exothermic reaction : เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

¹⁰ ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Flash Set เป็นปฏิกิริยาที่มีการคายความร้อน วิธีการหมุนไม่ผสมต่อโดยไม่เติมน้ำไม่อาจช่วยแก้ปัญหาคายความร้อนก่อตัวเร็วเกินไปได้

¹¹ Thermal Stress เป็นหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนที่อาจทำให้เกิดการแตกร้าวได้

¹² การแตกร้าวเนื่องจากความร้อน หรือ Thermal Cracking

¹³ เขื่อนภูมิพล ที่ อ.สามเงา จ.ตาก เป็นเขื่อนคอนกรีตรูปโค้ง กั้นแม่น้ำปิง เดิมชื่อเขื่อนยันฮี สร้างขึ้นตั้งแต่ปี 2501 เปิดใช้งานปี 2508 เป็นเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำขนาด 779.2 MW

¹⁴ เถ้า ลอยหรือเถ้าถ่านหินเป็นสารปอซโซลานที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินเพื่อ ผลิต กระแสไฟฟ้า เดิมต้องมีการกำจัดทิ้งโดยการถมที่ ปัจจุบันนำมาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตชะ เลย

¹⁵ จาก S.Mindess and J.F.Young, Concrete , Prentice –Hall, Inc.1981

¹⁶ ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 3 มีพื้นที่ผิวประมาณ 4,500 ซม²/กรัม เทียบกับปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1 3,300 ซม²/กรัม โดยวิธีแอร์เบลน

¹⁷ A.H. Neville, Properties of Concrete 4th edition

¹⁸ Jolicoeur,C.,Nkinamubanzi,P C.,Simard, M A and Piotte, M., Progress in Understanding the Functional Properties of Superplasticizers in Fresh Concrete, ACI SP-148, 1994

¹⁹ Initial Stage หรือ period of rapid evolution of heat

²⁰ flash set เป็นปฏิกิริยาระหว่าง C₃A กับน้ำ เกิดขึ้นเร็วมาก ทำให้เพสต์ก่อตัวเร็วซึ่งเป็นผลเสีย ต่อการทำงาน เค้าเลยเติม Gypsumเพื่อช่วยหน่วงปฏิกิริยา แต่ถ้าอัตราส่วน C₃A / Gypsum สูง ก็ มีโอกาสเกิด flash set ได้ เนื่องจากการเกิด excessive nucleationและเกิดการพัฒนา Calcium aluminate hydrateอย่างรวดเร็ว

²¹ ความจริงเขาเรียกว่า Hydrated Cement Matrix นะครับ แต่เนื่องจากมันมี ทั้ง Hydrated และ Unhydrated Particles ที่ยังหลงเหลืออยู่ผสมเลยชนิด ๆ ที่จะ.อุบอปปิบ ลับ.....

²² ไมครอน (micron)=10X10⁻⁶ m.

²³ C₃A + 3C[']SH + 26H C₆ A[']S₃H₃₂

(Tricalcium Aluminate Ettringite)

²⁴ Aspect Ratio ในที่นี้หมายถึงความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางนะครับ

²⁵ ในที่นี้คือSEM หรือ Scanning Electron Microscope เป็นเทคนิคการถ่ายภาพขยายกำลังสูง

²⁶ (From ¹⁵Concrete byS. Mindess)

$C'SH_2/C_3A$	รูปผลึกภัณฑ์ไฮเดรชัน
3.0	Ettringite
3.0 – 1.0	Ettringite + Monosulfo aluminate
1.0	Monosulfo aluminate
<1.0	Monosulfo aluminate solid solution
0	Hydrogarnet

²⁷ ชื่อจริง tetra calcium aluminate monosulfate 12 Hydrate

²⁸ $C_4A'SH_{12} + 2C'SH_2 + 16H C_6A'S_3H_{32}$

²⁹ ...อันนี้คุณ Mindess ¹⁵ เขาบอกนะคร้าบผมไม่ได้พูดเอง

³⁰ Connected Void and Disconnected Void

³¹ entrapped air void มีผลเสียต่อคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งกำลังและความทนทาน

³² โพรงคาпилลารี (Capillary void)

³³ นาโนเมตรเป็นหน่วยวัดในระบบเมตริกมีค่า=10x10⁻⁹m.

³⁴ S. Gierfz-Hedstorm, The Physical Structure of Hydrated Cement in Neville

³⁵ Hoover Dam สร้างในปีคศ.1931เสร็จคศ. 1935 ใช้คอนกรีต 4.36 ล้านลูกบาศก์หลาและใช้ระบบการลดความร้อนในคอนกรีตหลายวิธี เป็นงานก่อสร้างแรกที่น่ามหวกนिरภัยให้คนทำงานใช้ และมีการฝังอุปกรณ์การวัดในคอนกรีต

³⁶ ITZ หรือ Interfacial Transition Zone อันนี้คิดในลักษณะ Microscopic Level แล้วยะคร้าบ

³⁷ Geopolymer เป็นวัสดุเชื่อมประสานอย่างใหม่ ที่ใช้ สารปอซโซซาน ซึ่งมี silica และอลูมินาสูง ทำปฏิกิริยา polycondensationกับด่างแก่ แล้วเติมมวลรวมเป็น filler ทำหน้าที่เหมือนคอนกรีตอีกชนิดหนึ่ง

³⁸ .M. W. Barsoum, A. Ganguly and G. Hug, Microstructural evidence of reconstituted limestone blocks in the great pyramids of Egypt, J. Am. Ceram. Soc., In Press (2006) คณะ

วารสารคอนกรีต TCA e-magazine



นักวิจัยศึกษาชั้นตัวอย่างจากปิรามิด 15 ชั้นด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) และพบว่าสารประกอบ “amorphous” ในชั้นตัวอย่างประกอบด้วย Calcium และ Magnesium บางชนิดซึ่งไม่พบในหินธรรมชาติ

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>