



SCG

Cement **and Applications**

ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน

ประวัติปูนซีเมนต์

บทที่



รูปที่ 1-1 โรงงานปูนซีเมนต์ไทยบางซื่อ ถือเป็นโรงงานปูนซีเมนต์แห่งแรกของไทย

บทคัดย่อ

หลักฐานทางประวัติศาสตร์ พบว่า มีการนำปูนซีเมนต์มาใช้งานตั้งแต่สมัยอียิปต์, กรีก, และโรมัน โดยในยุคต้นจะเป็นการใช้งานเพื่อสร้างเป็นที่หลบภัยหรือที่อยู่อาศัยเป็นส่วนใหญ่

ในปี พ.ศ. 2367 Joseph Aspdin ช่างปูนชาวอังกฤษ เป็นผู้ประดิษฐ์คิดค้นปูนซีเมนต์ขึ้น โดยปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้นี้ มีชื่อว่า “ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland Cement)” เพราะมีสีเหมือนหินบนเกาะพอร์ตแลนด์ในประเทศอังกฤษ ซึ่งชื่อดังกล่าว ยังคงใช้อยู่จนถึงปัจจุบันและแพร่หลายไปทั่วโลก

ความเป็นมาของปูนซีเมนต์ในประเทศไทย พบว่า ไทยเริ่มผลิตปูนซีเมนต์ใช้เองภายในประเทศเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2456 ด้วยพระราชประสงค์ของพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 6) เพื่อให้สามารถผลิตปูนซีเมนต์ขึ้นใช้เองได้ภายในประเทศ ลดการนำเข้าปูนซีเมนต์จากต่างประเทศ จัดสรรการใช้ทรัพยากรภายในประเทศอย่างคุ้มค่า และช่วยนำประเทศไปสู่ความเจริญก้าวหน้าในอนาคต ภายใต้ชื่อ บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด ครั้นต่อมาได้แปรสภาพเป็นบริษัทมหาชน ภายใต้ชื่อ บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) จนถึงปัจจุบัน



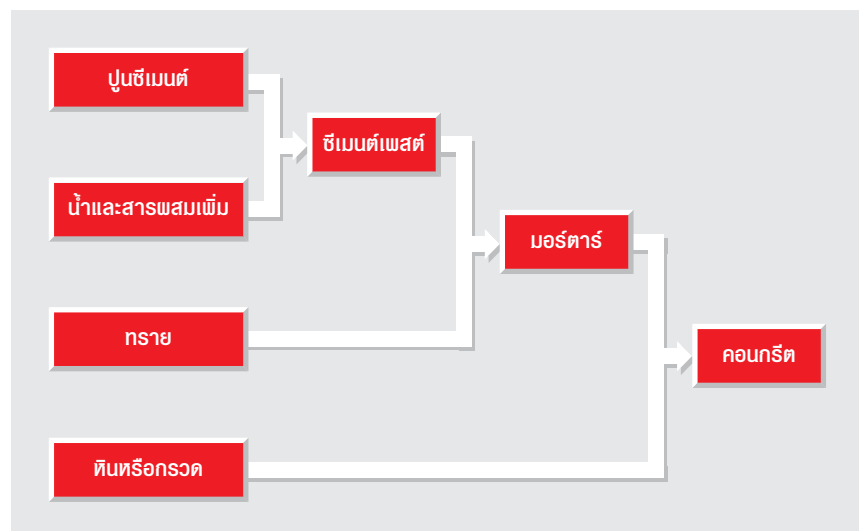
1.1 บทนำ

ปูนซีเมนต์ (Cement) เป็นคำที่มาจากภาษาละติน (Latin) หมายถึง สารที่สามารถยึดหรือประสานของแข็ง หรือมวลรวม เช่น หินหรือกรวด, และทราย ให้แข็งติดเป็นชิ้นเดียวกัน นิยมใช้ในงานก่อสร้างเป็นหลัก โดยมีการนำปูนซีเมนต์ไปใช้งาน ทั้งในรูปแบบของ ซีเมนต์เพสต์, มอร์ตาร์, และคอนกรีต ดังแสดงไว้ใน **รูปที่ 1-2**

ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) คือ ส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ กับ น้ำ และอาจมีสารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีตด้วย

มอร์ตาร์ (Mortar) คือ ส่วนผสมของ ซีเมนต์เพสต์ กับ ทราย

คอนกรีต (Concrete) คือ ส่วนผสมของ มอร์ตาร์ กับ หินหรือกรวด นั่นคือ คอนกรีต ประกอบด้วยปูนซีเมนต์, น้ำ, ทราย, หินหรือกรวด, และอาจมีสารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีตด้วย



รูปที่ 1-2 การเรียกชื่อองค์ประกอบต่าง ๆ ของซีเมนต์เพสต์, มอร์ตาร์, และคอนกรีต



รูปที่ 1-3 ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย อาทิงานหล่อคอนกรีตสำหรับการก่อสร้างอาคาร, ถนน, และสะพาน

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างที่มีบทบาทสำคัญและได้รับความนิยมในวงการก่อสร้างอย่างแพร่หลายทั่วโลก ทั้งนี้เพราะเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติโดดเด่นหลายประการ อาทิเช่น สามารถหล่อขึ้นรูปร่างต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้, มีความแข็งแรง, และมีความคงทน เป็นต้น จึงนิยมนำปูนซีเมนต์ไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่าง ๆ มากมาย ทั้งงานหล่อคอนกรีตสำหรับสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ (เช่น อาคาร, บ้านเรือน, สะพาน, ถนน, และเขื่อน เป็นต้น), งานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีตชนิดต่าง ๆ, งานก่อ งานฉาบ, และงานตกแต่งประเภทต่าง ๆ

การทราบถึงประวัติความเป็นมาอันแสดงการถือกำเนิดและวิวัฒนาการของปูนซีเมนต์ทั้งในระดับโลก และของประเทศไทย จึงมีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจวัสดุก่อสร้างชนิดนี้ได้ดียิ่งขึ้น

1.2 ประวัติปูนซีเมนต์

การก่อสร้างในสมัยโบราณ มีการนำหินก้อนโตจากที่ห่างไกลมาปรับแต่งให้เป็นรูปเสากหรือเสา โดยทำเป็นแผ่นมาเรียงซ้อนกันเป็นอาคารที่มั่นคง มีการคิดค้นมอร์ตาร์ (Mortar) ขึ้น เพื่อเป็นตัวเชื่อมประสานก้อนหินขนาดใหญ่เข้าด้วยกัน และทำเป็นโครงสร้างที่ถาวรขึ้นได้ ในยุคนั้น มีการใช้ดินเหนียว (Clay) เป็นตัวยึดก้อนหินขนาดใหญ่เข้าด้วยกัน ในการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างเพื่อใช้ป้องกันและหลบภัยต่าง ๆ การใช้ปูนซีเมนต์ที่เก่าแก่ที่สุดเกิดขึ้นเมื่อประมาณ 9,000 ปีมาแล้ว หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาปูนซีเมนต์เรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปี	เหตุการณ์
2,000 ปี ก่อนพุทธกาล (2,500 ปี ก่อนคริสต์ศักราช)	- มีการใช้มอร์ตาร์ที่ทำมาจากปูนขาว หรือได้จากการเผาหินปูน มาผสมกับน้ำเข้าด้วยกัน เป็นวัสดุเชื่อมประสานระหว่างก้อนหินขนาดใหญ่ ในการก่อสร้างปิรามิดในสมัยอียิปต์โบราณ - โดยเฉพาะผลงานที่ยิ่งใหญ่ คือ Great Pyramid ที่เมือง Giza ประเทศอียิปต์
สมัยพุทธกาล (500 ปี ก่อนคริสต์ศักราช)	ชาวกรีกได้รับศิลปะการก่อมอร์ตาร์จากปูนขาวเข้ามา โดยได้ใช้ปูนขาวเป็นวัสดุเชื่อมประสานระหว่างก้อนหินหรือก้อนอิฐ เพื่อก่อสร้างโครงสร้าง เช่น วิหาร และตำหนักต่าง ๆ
ประมาณปี พ.ศ. 200 (300 ปี ก่อนคริสต์ศักราช)	- ชาวโรมันได้ใช้สารปอซโซลานเป็นวัสดุเชื่อมประสานซึ่งได้มาจากถ้ำภูเขาไฟ ละอองที่ประกอบด้วยสารประกอบพวกซิลิกา (Silica) และอลูมินา (Alumina) นำมาผสมกับปูนขาว ทำให้ได้ “Roman Cement” เมื่อนำมาผสมน้ำจะแข็งตัว และให้ความแข็งแรง ซึ่งในปัจจุบันได้พัฒนาเป็น “Pozzolanic Cement” - วัสดุนี้ใช้ในการก่อสร้างสิ่งก่อสร้างต่างๆ ที่มีชื่อเสียงในปัจจุบัน เช่น กำแพงโรมัน, โคลีเซียม, และ Pantheon ในกรุงโรม เป็นต้น ทำให้การค้นพบดังกล่าวมีความสำคัญต่อการก่อสร้างเป็นอย่างมาก
ประมาณปี พ.ศ. 1800 (ประมาณปี ค.ศ. 1300)	ประมาณ 800 ปี หลังจากสิ้นสุดยุคโรมันที่มีการใช้สารปอซโซลานเป็นครั้งแรก ได้มีการกลับมาเผาปูนขาวและใช้สารปอซโซลานอีกครั้งหนึ่ง
พ.ศ. 2299 (ค.ศ. 1756)	- John Smeaton พบว่า เมื่อนำหินปูน (Soft Limestone) ที่มีส่วนผสมของดินเหนียว (Clay) ไปใช้ทำปูนซีเมนต์ จะได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด - เขาได้นำปูนซีเมนต์นี้มาผสมกับสารปอซโซลานในการก่อสร้างประภาคาร Eddystone Lighthouse บริเวณช่องแคบอังกฤษโดยใช้ระยะเวลาก่อสร้าง 3 ปี จึงแล้วเสร็จ ในปี พ.ศ. 2302 (ค.ศ. 1759) จากการค้นพบการผลิตปูนซีเมนต์ของเขานับเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ - John Smeaton ได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดาแห่งวิศวกรรมโยธาของประเทศอังกฤษ
พ.ศ. 2367 (ค.ศ. 1824)	- Joseph Aspdin ช่างปูนชาวอังกฤษ เป็นผู้ที่ประดิษฐ์คิดค้นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้เป็นผลสำเร็จ และได้จดสิทธิบัตร - ปูนซีเมนต์ที่ดี มีชื่อว่า “ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)” เพราะเมื่อปูนซีเมนต์นี้แข็งตัวจะมีสีเหมือนกับสีของหินปูนบนเกาะปอร์ตแลนด์ บริเวณช่องแคบอังกฤษ ซึ่งชื่อดังกล่าวยังคงใช้อยู่จนถึงปัจจุบันและแพร่หลายไปทั่วโลก - เขาได้จัดตั้งหีบห่อปูนซีเมนต์ที่ Wakefield และปูนซีเมนต์ที่ผลิต ได้รับการนำมาใช้ในโครงการอุโมงค์ลอดแม่น้ำเทมส์ ในปี พ.ศ. 2371 (ค.ศ. 1828) - Joseph Aspdin ได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดาแห่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สมัยใหม่



รูปที่ 1-4 Great Pyramid ที่เมือง Giza ประเทศอียิปต์ 9



รูปที่ 1-5 โคลีเซียมในประเทศอิตาลี 7



รูปที่ 1-6 Eddystone Lighthouse หรือ ประภาคารของ Smeaton 10



รูปที่ 1-7 หินของเกาะปอร์ตแลนด์ (ซึ่งเป็นที่มาของชื่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์) และตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก 8



รูปที่ 1-8 อุโมงค์คอนกรีตลอดแม่น้ำ
เทมส์ 6

ปี	เหตุการณ์
พ.ศ. 2388 (ค.ศ. 1845)	I. C. Johnson และบุตรชายได้ทำการเผาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ด้วยความร้อนสูงจนกระทั่งมีลักษณะคล้ายแก้ว (Vitrified) ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นของกรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เราใช้กันในปัจจุบัน - ประเทศอังกฤษได้มีการส่งออกปูนซีเมนต์ไปยังประเทศต่างๆ ทั่วโลก
พ.ศ. 2408 (ค.ศ. 1865)	ประเทศต่างๆ แถบยุโรป เช่น เบลเยียม, ฝรั่งเศส, และเยอรมัน เริ่มทำการผลิตปูนซีเมนต์เป็นครั้งแรก และทำการส่งออกไปยังทวีปอเมริกาเหนือ
พ.ศ. 2411 (ค.ศ. 1868)	มีการจัดบันทึกการส่งสินค้าประเภทปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไปยังประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นครั้งแรก
พ.ศ. 2414 (ค.ศ. 1871)	ประเทศสหรัฐอเมริกามีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขึ้นเป็นครั้งแรก ในมลรัฐ Pennsylvania
พ.ศ. 2423 (ค.ศ. 1880)	ได้ค้นพบวิธีเผาปูนซีเมนต์โดย Rotary Kiln
พ.ศ. 2463 - 2493 (ค.ศ. 1920 - 1950)	พัฒนาข้อกำหนดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่างๆ

1.3 ประวัติปูนซีเมนต์ของไทย

ในอดีต ชาวไทยเรานิยมใช้ไม้ในการก่อสร้างเป็นหลัก แต่ก็มีการใช้ปูนที่เรียกกันว่า “ปูนสอ” ซึ่งทำจากดินขาวผสมกับกาวเคี้ยวจากหนังวัว และน้ำอ้อย ใช้สำหรับงานก่อและงานฉาบเป็นหลัก และส่วนใหญ่จะใช้สำหรับงานสร้างโบสถ์ วิหาร แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดทางกายภาพของวัสดุ ทั้งทางด้านความคงทนและการรับกำลัง อีกทั้งในช่วงยุครัตนโกสินทร์เป็นต้นมาเป็นช่วงที่ประเทศไทยต้องพัฒนาบ้านเมืองให้เทียบทันกับอารยประเทศ ทำให้ปูนซีเมนต์เพิ่มมีความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ

ในสมัยรัชกาลที่ 4 ถึงรัชกาลที่ 6 ประเทศไทยต้องนำเข้าปูนซีเมนต์จากต่างประเทศ ทำให้ต้องเสียเงินตราให้แก่ต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ประเทศไทยมีศักยภาพและวัตถุดิบอย่างเพียงพอในการผลิตปูนซีเมนต์เพื่อใช้งาน ประกอบกับความต้องการปูนซีเมนต์ภายในประเทศเพิ่มสูงขึ้น ทำให้บริษัทผลิตปูนซีเมนต์แห่งแรกของไทยถือกำเนิดขึ้นในปี พ.ศ. 2456 ด้วยพระราชประสงค์ของ พระบาทสมเด็จพระปรเมนทรมหาอานันทมหิดล พระอัฐมรามาธิบดินทร (รัชกาลที่ 6) เพื่อให้สามารถผลิตปูนซีเมนต์ขึ้นใช้เองได้ภายในประเทศ ลดการนำเข้าปูนซีเมนต์จากต่างประเทศ จัดสรรการใช้ทรัพยากรภายในประเทศอย่างคุ้มค่า และช่วยนำประเทศไปสู่ความเจริญก้าวหน้าในอนาคต ภายใต้ชื่อ “บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด” โดยเริ่มก่อตั้งเมื่อวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2456 และได้รับการจดทะเบียนเป็นบริษัทเมื่อวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2458

โรงงานแห่งแรกของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด คือ โรงงานปูนซีเมนต์ไทยบางซื่อ ซึ่งเป็นโรงงานปูนซีเมนต์แห่งแรกของไทย ตั้งอยู่ที่บางซื่อ กรุงเทพมหานคร ใกล้กับสถานีรถไฟบางซื่อเพื่อความสะดวกในการขนส่งวัตถุดิบและการกระจายสินค้าทั้งทางรถไฟและทางเรือ



รูปที่ 1-9 พระบาทสมเด็จพระมงกุฎ
เกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 6) ทรงมี
พระบรมราชโองการโปรดเกล้าฯ ให้จัดตั้ง
บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด ขึ้น ในปี พ.ศ.
2456 ซึ่งถือเป็นบริษัทผลิตปูนซีเมนต์
แห่งแรกของประเทศ



รูปที่ 1-10 โรงงานปูนซีเมนต์ไทยบางช้อ ถือเป็นโรงงานปูนซีเมนต์แห่งแรกของไทย

ในปี พ.ศ. 2507 ในงานฉลองครบรอบ 50 ปี ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว และสมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถ ได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ เสด็จทรงเป็นประธาน และพระราชทานพระบรมราชานุญาต ให้บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด เป็น “บริษัทในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว”



รูปที่ 1-11 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว และสมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถ ได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ เสด็จมาทรงเป็นประธานในงานฉลอง และทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานตราตั้งให้แก่บริษัทฯ ในงานฉลองครบรอบ 50 ปี ของ บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด เมื่อปี พ.ศ. 2507

ครั้นต่อมา เมื่อความต้องการใช้ปูนซีเมนต์เพิ่มสูงขึ้น บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด จึงได้ขยายโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ไปยังภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วประเทศได้แก่ โรงงานปูนซีเมนต์ไทยท่าหลวง (จ.สระบุรี), โรงงานปูนซีเมนต์ไทย เขาวง (จ.สระบุรี), โรงงานปูนซีเมนต์ไทย แก่งคอย (จ.สระบุรี), โรงงานปูนซีเมนต์ไทย ทุ่งสง (จ.นครศรีธรรมราช), และโรงงานปูนซีเมนต์ไทยลำปาง (จ.ลำปาง) ต่อมา ได้มีการปิดโรงงานที่บางช้อ และใช้เป็นที่ตั้งของสำนักงานใหญ่ของเครือซีเมนต์ไทยในปัจจุบัน



ก) โรงงานปูนซีเมนต์ไทย ท่าหลวง
(บริษัทปูนซีเมนต์ไทย (ท่าหลวง) จำกัด)



ข) โรงงานปูนซีเมนต์ไทย เขาหวง
(บริษัทปูนซีเมนต์ไทย (ท่าหลวง) จำกัด)



ค) โรงงานปูนซีเมนต์ไทย แก่งคอย
(บริษัทปูนซีเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด)



ง) โรงงานปูนซีเมนต์ไทย ห้วยผึ้ง
(บริษัทปูนซีเมนต์ไทย (ห้วยผึ้ง) จำกัด)



จ) โรงงานปูนซีเมนต์ไทย ลำปาง
(บริษัทปูนซีเมนต์ไทย (ลำปาง) จำกัด)

รูปที่ 1-13 โรงงานปูนซีเมนต์ไทย



รูปที่ 1-12 รูปสำนักงานใหญ่ของเครือซีเมนต์ไทย ที่บางชื้อ กรุงเทพมหานคร

ในปัจจุบัน บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด ได้แปรสภาพเป็นบริษัทมหาชน ภายใต้ชื่อ “บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน)” และได้ขยายขอบข่ายธุรกิจและเติบโตอย่างมั่นคงเป็น “เครือซีเมนต์ไทย” และใช้สัญลักษณ์ คือ “ช้างเผือกในรูปหกเหลี่ยม” เพื่อเป็นศูนย์กลางการบริหาร การควบคุมนโยบาย และงานในด้านต่าง ๆ โดยมี “บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด” เป็นบริษัทหลักในธุรกิจซีเมนต์ ซึ่งมีกำลังการผลิตปูนซีเมนต์สูงที่สุดในภูมิภาคอาเซียน และเป็นผู้ผลิตและจำหน่ายปูนซีเมนต์เทา (ตราช้าง, ตราเสือ), ปูนสำเร็จรูป (ตราเสือคู่), ปูนซีเมนต์ขาว (ตราช้างเผือก, ตราเสือ), คอนกรีตผสมเสร็จ (CPAC), และผลิตภัณฑ์วัสดุทนไฟ



รูปที่ 1-14 สัญลักษณ์ของ “เครือซีเมนต์ไทย”, “คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค”, “ปูนตราช้าง”, และ “ปูนตราเสือ”

เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, “คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน), “ปูนซีเมนต์ไทย 2456 - 2526”, 2526.
- 3 บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, “รายงานสิ่งแวดล้อม 2544”, 2544.
- 4 พิภพ สุนทรสมัย, “วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.
- 5 เอกสารวิชาการของ บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, 2547.
- 6 A. J. Francis, “The Cement Industry 1796 - 1914 : A History”, 1977.
- 7 Leonardo B. Dal Maso, “Rome of the Caesars”.
- 8 Portland Cement Association, “Design and Control of Concrete Mixtures : Portland, Blended, and Other Hydraulic Cements”, Concrete Information, 2002.
- 9 community.webshots.com
- 10 www.cyberheritage.co.uk

กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์

บทที่

2



รูปที่ 2-1 โรงงานปูนซีเมนต์ไทย หนึ่งในโรงงานปูนซีเมนต์ที่มีเทคโนโลยีการผลิตปูนซีเมนต์สมัยใหม่ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

บทคัดย่อ

กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ จำแนกได้เป็น 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก, และกรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง โดยที่กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง เป็นวิธีที่ทันสมัยกว่า เพราะเป็นวิธีที่ใช้พลังงานความร้อนต่ำกว่า จึงช่วยประหยัดเชื้อเพลิงในการเผาได้ดีกว่า และยังสามารถควบคุมองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ได้ง่ายกว่า จึงทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอมากกว่า

ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ แบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 การทำเหมืองและการเตรียมวัตถุดิบ : จัดหาและคัดเลือกวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ, ทำเหมืองหิน, ขนส่งวัตถุดิบมาย่อยให้มีขนาดเล็กลง, และกองเก็บไว้ในยูน

ขั้นตอนที่ 2 การบดวัตถุดิบ : ป้อนวัตถุดิบเข้าสู่หม้อบดวัตถุดิบ แล้วบดวัตถุดิบจนได้วัตถุดิบสำเร็จ

ขั้นตอนที่ 3 การเผาปูนเม็ด : ป้อนวัตถุดิบสำเร็จเข้าสู่ Preheater แล้วลำเลียงเข้าสู่เตาเผา โดยเผาที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ $1,450^{\circ}\text{C}$ จนได้ปูนเม็ด จากนั้นปูนเม็ดจะถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว

ขั้นตอนที่ 4 การบดปูนซีเมนต์ : ลำเลียงปูนเม็ดเข้าหม้อบดปูนซีเมนต์ ในระหว่างกระบวนการบดนั้น จะมีการเติมยิปซั่มในปริมาณเล็กน้อย บดจนได้ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดตามต้องการ

ขั้นตอนที่ 5 การบรรจุและการขนส่งปูนซีเมนต์ : ลำเลียงปูนซีเมนต์เก็บไว้ในไซโล เพื่อรอการบรรจุและการขนส่งต่อไป



2.1 บทนำ

ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ แบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 การทำเหมืองและการเตรียมวัตถุดิบ : จัดหาและคัดเลือกวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีองค์ประกอบของแร่ธาตุที่ต้องการ, ทำเหมืองหิน, ขนส่งวัตถุดิบจากเหมืองมาย่อยให้มีขนาดเล็กลง, และกองเก็บไว้ในยังเก็บวัตถุดิบเพื่อรอการนำไปใช้งาน

ขั้นตอนที่ 2 การบดวัตถุดิบ : ป้อนวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ เข้าสู่หม้อบดวัตถุดิบ แล้วบดวัตถุดิบจนได้วัตถุดิบสำเร็จ

ขั้นตอนที่ 3 การเผาปูนเม็ด : ป้อนวัตถุดิบสำเร็จเข้าสู่ Preheater เพื่ออุ่นวัตถุดิบสำเร็จให้ร้อน แล้วลำเลียงเข้าสู่เตาเผาต่อไป โดยเผาที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ $1,450^{\circ}\text{C}$ ซึ่งที่อุณหภูมิดังกล่าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของวัตถุดิบต่าง ๆ จนได้ปูนเม็ดที่มีลักษณะเป็นก้อนค่อนข้างกลมสีเทาเข้มขนาดไม่เกิน 2 เซนติเมตร จากนั้นปูนเม็ดจะถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว

ขั้นตอนที่ 4 การบดปูนซีเมนต์ : ลำเลียงปูนเม็ดเข้าหม้อบดปูนซีเมนต์ในระหว่างกระบวนการบดนั้น จะมีการเติมยิปซั่มในปริมาณเล็กน้อย (เพื่อช่วยยืดระยะเวลาการแข็งตัว, ปรับปรุงคุณสมบัติการหดตัว, และพัฒนากำลังอัดของปูนซีเมนต์) บดจนได้ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดตามต้องการ

ขั้นตอนที่ 5 การบรรจุและการขนส่งปูนซีเมนต์ : ลำเลียงปูนซีเมนต์เก็บไว้ในไซโลเพื่อรอการบรรจุและการขนส่งต่อไป ซึ่งมีทั้งการเป่าลงเต้าของรถขนส่งในรูปของปูนซีเมนต์ผง และการบรรจุลงในรูปของปูนซีเมนต์ถุง แล้วทำการขนส่งปูนซีเมนต์ไปยังร้านค้า, โรงงานอุตสาหกรรมคอนกรีต, หรือหน่วยงานก่อสร้างต่าง ๆ โดยการขนส่งด้วยรถปูนซีเมนต์, รถไฟ, หรือเรือ เพื่อนำปูนซีเมนต์ไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่าง ๆ ต่อไป

2.2 กรรมวิธีการผลิต

กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ (Cement Manufacturing Process) จำแนกตามลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเป็น 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process), และกรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process)

1. กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) คือ กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูง เช่น ดินขาว (Marl), และดินเหนียว (Clay) มาบดผสมกันในสภาพที่เปียกและเติมน้ำเพิ่มลงไปในอัตราส่วนที่พอเหมาะ เพื่อช่วยในการบดผสม วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จจะมีน้ำเป็นส่วนผสมประมาณ 30 - 40% มีลักษณะเหลวและไหลได้เรียกว่า Slurry หลังจากนั้นนำไป ป้อนเข้าหม้อเผา ในสภาพที่มีความชื้นสูง หม้อเผาในกรรมวิธีการแบบเปียกจะต้องใช้ปริมาณความร้อนสูงกว่าหม้อเผาในกรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง เนื่องจากต้องใช้ความร้อนไล่ความชื้นใน Slurry ออกให้หมดก่อนที่จะเผาต่อเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา
2. กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) คือ กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นปกติ เช่น หินปูน (Limestone), หินดินดาน (Shale),

ดินลูกรัง (Laterite), และทราย (Sand) มาบดผสมในสภาพที่แห้งและในระหว่างการบดจะใช้ลมร้อนที่เหลือจากระบบหม้อเผาช่วยไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จแล้วจะมีลักษณะเป็นผงละเอียดคล้ายแป้งเรียกว่า “วัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal)” หลังจากนั้นนำไปป้อนเข้าหม้อเผา ในสภาพที่แห้งเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา

กรรมวิธีการผลิตแบบเปียกถือว่าเป็นวิธีที่ล้าสมัยเพราะต้องใช้พลังงานความร้อนสูง จึงเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอย่างมาก

ในปัจจุบัน โรงงานปูนซีเมนต์ไทยทุกโรงงาน จึงใช้กรรมวิธีการผลิตแบบแห้งซึ่งเป็นวิธีที่ทันสมัยกว่า เพราะเป็นวิธีที่ใช้พลังงานความร้อนต่ำกว่า จึงช่วยประหยัดเชื้อเพลิงในการเผาได้ดีกว่า และยังสามารถควบคุมองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ได้ง่ายกว่า จึงทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอมากกว่า นอกจากนี้ ยังมีระบบการควบคุมคุณภาพทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ เพื่อความมั่นใจว่าจะสามารถผลิตปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพดี สม่ำเสมอ และได้มาตรฐาน



รูปที่ 2-2 เครื่องมืออัตโนมัติสำหรับการควบคุมคุณภาพปูนซีเมนต์ในระหว่างกระบวนการผลิต

2.3 วัตถุดิบ

วัตถุดิบ (Raw Materials) ที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ แบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 4 ประเภท ดัง ตารางที่ 2-1

ประเภทของวัตถุดิบ	รายละเอียด
1. Calcareous Materials	เป็นวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate หรือ CaCO_3) ตั้งแต่ 80% ขึ้นไป เช่น หินปูน (Limestone), ดินขาว (Marl), และดินสอพอง (Chalk) เป็นต้น
2. Argillaceous Materials	เป็นวัตถุดิบที่ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกา (Silicon Dioxide หรือ SiO_2), อลูมินา (Aluminium Oxide หรือ Al_2O_3), และเหล็ก (Iron Oxide หรือ Fe_2O_3) เป็นส่วนใหญ่ เช่น หินดินดาน (Shale), และดินคำหรือดินเหนียว (Clay) เป็นต้น
3. Corrective Materials	เป็นวัตถุดิบที่ใช้สำหรับเพิ่มเติมองค์ประกอบทางเคมีบางตัวซึ่งในหินดินดานหรือดินคำ มีปริมาณไม่เพียงพอ เช่น - เพิ่ม SiO_2 : ทราย (Sand) - เพิ่ม Al_2O_3 : ดินแดง (High Alumina Clay) - เพิ่ม Fe_2O_3 : แร่เหล็ก (Iron Ore), และดินลูกรัง (Laterite)
4. Additive Materials	เป็นสารผสมเพิ่มที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพของปูนซีเมนต์ที่สำคัญคือการเติมยิบซัมเพื่อช่วยยืดระยะเวลาการแข็งตัว, ปรับปรุงคุณสมบัติการหดตัว, และพัฒนากำลังอัดของปูนซีเมนต์ กรณีปูนซีเมนต์ผสม มีการเติมหินปูน เพื่อช่วยลดการหดตัว ซึ่งจะช่วยลดการแตกร้าว นอกจากนี้ ยังอาจมีการผสมสารผสมเพิ่มชนิดอื่นๆ เช่น สารปอซโซลาน, GGBS, สารลดน้ำ, และสารกระจายฟองอากาศ เป็นต้น

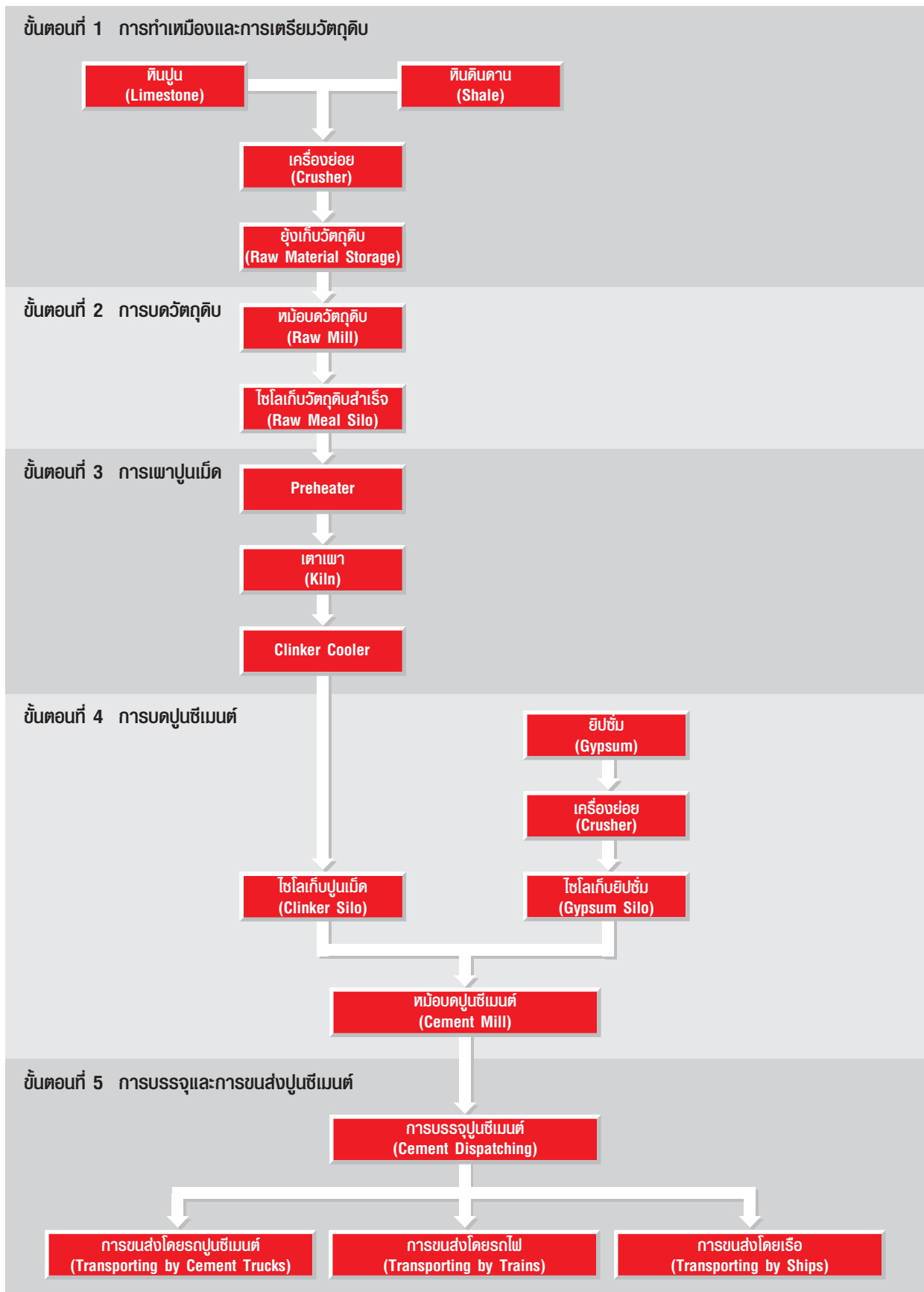


รูปที่ 2-3 ตัวอย่าง Calcareous Materials เช่น หินปูน (Limestone)



รูปที่ 2-4 ตัวอย่าง Argillaceous Materials เช่น หินดินดาน (Shale)

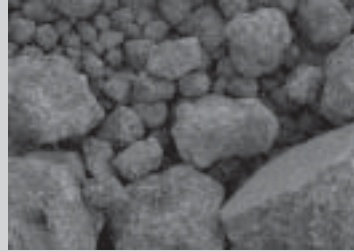
ตารางที่ 2-1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์



รูปที่ 2-5 แผนภาพแสดงกรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์แบบแห้ง (Dry Process)



ก) ทราย (Sand) ใช้เพิ่ม SiO_2



ข) ดินแดง (High Alumina Clay) ใช้เพิ่ม Al_2O_3



ค) แร่เหล็ก (Iron Ore) ใช้เพิ่ม Fe_2O_3



ง) ดินลูกรัง (Laterite) ใช้เพิ่ม Fe_2O_3



รูปที่ 2-7 ตัวอย่าง Additive Materials เช่น ยิปซั่ม (Gypsum)

รูปที่ 2-6 ตัวอย่าง Corrective Materials

การผลิตปูนซีเมนต์จะต้องควบคุมการผสมของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ ให้มีส่วนผสมที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ

2.4 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation) สำหรับการผลิตปูนซีเมนต์ในกรรมวิธีการผลิตแบบแห้งนั้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่จะใช้หินปูน (Limestone) และหินดินดาน (Shale) จากเหมืองหิน (Quarry) โดยทำการเจาะและการระเบิดหิน จากนั้นลำเลียงหินไปยังเครื่องย่อย (Crusher) เพื่อย่อยให้มีขนาดเล็กลงเหลือประมาณ 2.5 เซนติเมตร การย่อยวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลงใกล้เคียงกัน จะทำให้ได้วัตถุดิบที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ หินปูนและหินดินดานที่ถูกย่อยจนได้ขนาดแล้วจะถูกลำเลียงไปเก็บในย้งเก็บวัตถุดิบ (Raw Material Storage) ต่อไป

กรณีวัตถุดิบจากเหมืองมีคุณภาพเปลี่ยนแปลงหรือมีวัตถุดิบชนิดอื่นเจือปน ส่งผลให้คุณภาพวัตถุดิบไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ย้งวัตถุดิบจะเป็นตัวช่วยปรับปรุงคุณภาพให้สม่ำเสมอยิ่งขึ้น โดยใช้ Stacker สำหรับการลำเลียงและการทำกองวัตถุดิบ ซึ่งจะทำให้วัตถุดิบที่มีคุณภาพแตกต่างกัน กระจัดกระจายอยู่ตามจุดต่าง ๆ ในกองวัตถุดิบภายในย้ง รวมทั้งใช้ Reclaimer สำหรับการตักและการลำเลียงวัตถุดิบออกจากกอง ซึ่งช่วยให้เกิดการผสมกันของวัตถุดิบที่มีคุณภาพแตกต่างกัน ทำให้มีคุณภาพสม่ำเสมอยิ่งขึ้น



ก) สภาพภายในเหมือง



ข) สภาพภายนอกเหมือง



ค) การเจาะและการระเบิด



ง) การขุดตัก



จ) การลำเลียงด้วยรถขนหิน

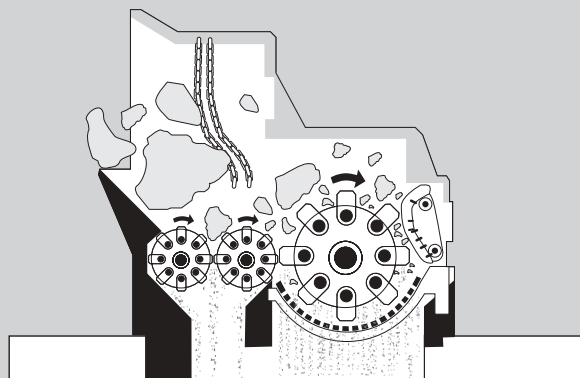


ฉ) การเทใส่เครื่องย่อยหิน

รูปที่ 2-8 การทำเหมืองหิน (Quarry)



ก) เครื่องย่อย



ข) ภายในเครื่องย่อย

รูปที่ 2-9 เครื่องย่อย (Crusher)



รูปที่ 2-10 ตู้เก็บวัตถุดิบ
(Raw Material Storage)



รูปที่ 2-11 Stacker



รูปที่ 2-12 Reclaimer

2.5 การบดวัตถุดิบ

การบดวัตถุดิบ (Raw Material Grinding) เริ่มจากการลำเลียงวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ เข้าถึงเก็บวัตถุดิบแต่ละชนิด เพื่อลำเลียงเข้าสู่ **หม้อบดวัตถุดิบ (Raw Mill)** ซึ่งจะต้องควบคุมส่วนผสมของวัตถุดิบทุกชนิดให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด หม้อบดวัตถุดิบจะบดวัตถุดิบทั้งหมดให้ละเอียด โดยในระหว่างการบดจะใช้ลมร้อนที่เหลือจากระบบหม้อเผา ช่วยไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ ส่งผลให้วัตถุดิบที่ผ่านการบดแล้วมีความชื้นต่ำลงมาก วัตถุดิบที่ถูกบดละเอียด แล้วจะถูกคัดแยกด้วยเครื่องคัดแยก ซึ่งวัตถุดิบที่ผ่านการบดและการคัดแยกจนได้ขนาดตามต้องการจะมีลักษณะเป็นผงละเอียดคล้าย แป้ง เรียกว่า **“วัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal)”** จากนั้นจะลำเลียงวัตถุดิบสำเร็จไปเก็บในไซโล เพื่อป้อนเข้าหม้อเผาต่อไป ส่วนวัตถุดิบที่หยาบจะถูกป้อนกลับไปยังสายพาน เพื่อป้อนเข้าหม้อบดอีกครั้งจนได้ขนาดตามที่ต้องการ



รูปที่ 2-13 หม้อบดวัตถุดิบ (Raw Mill)



รูปที่ 2-14 วัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal)



2.6 การเผาปูนเม็ด

การเผาปูนเม็ด (Clinker Burning) มีขั้นตอนดังนี้ คือ เริ่มจากการลำเลียงวัตถุดิบสำเร็จที่ได้เข้าสู่ระบบหม้อเผา ซึ่งในปัจจุบันก่อนจะป้อนวัตถุดิบสำเร็จเข้าสู่หม้อเผาจะต้องป้อนวัตถุดิบสำเร็จผ่าน Preheater เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนจะป้อนเข้าสู่ "Burning Zone" ภายใน หม้อเผา (Kiln) นอกจากนี้ระบบหม้อเผาสสมัยใหม่ยังสามารถลดความยาวของหม้อเผาให้สั้นลงอีก ซึ่งสามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อน (Heat Consumption) ได้อีกทางหนึ่งด้วย

การเผาปูนเม็ดจะต้องควบคุมปริมาณวัตถุดิบสำเร็จที่ป้อนเข้าหม้อเผาให้พอเหมาะกับการผลิตของหม้อเผา และเผาที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ $1,450^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 2-15 Preheater



รูปที่ 2-16 หม้อเผา (Kiln)

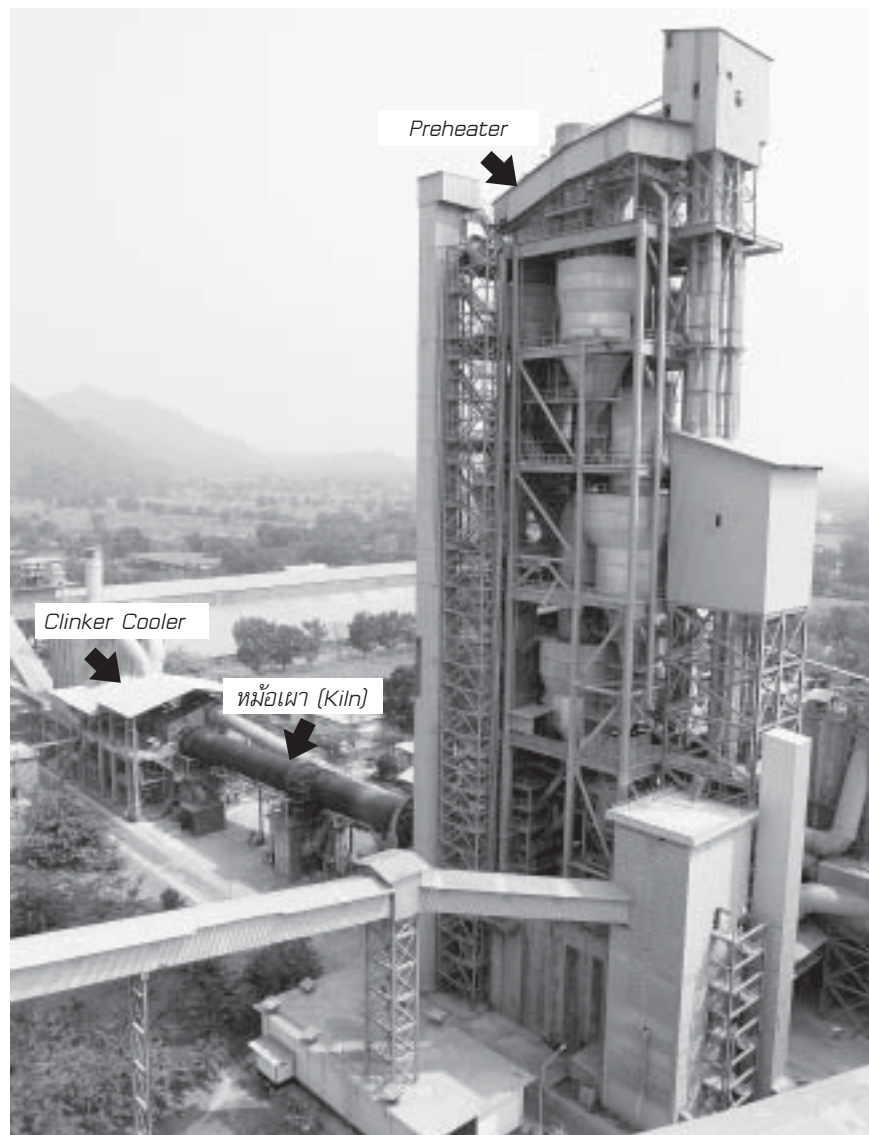


ก) Clinker Cooler



ข) ภายใน Clinker Cooler

รูปที่ 2-17 Clinker Cooler



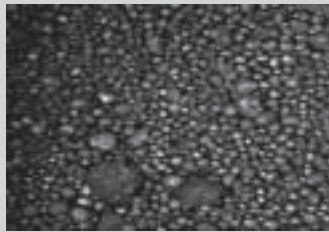
รูปที่ 2-18 การเผาปูนเม็ด

เชื้อเพลิงที่ใช้เพื่อให้พลังงานความร้อนในการเผาปูนเม็ด แบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

1. เชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป (Nonrenewable Fuel) เช่น ถ่านหิน, น้ำมันเตา, และ Pet Coke เป็นต้น
2. เชื้อเพลิงทดแทน (Secondary Fuel) ช่วยลดมลภาวะทางด้านสิ่งแวดล้อม และประหยัดการใช้เชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป แบ่งเป็น 2 ประเภทย่อย ได้แก่
 - เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) เป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร เช่น แกลบ, ชี้เลี้ยง, ใบปาล์ม, เปลือกไม้, และกะลาปาล์ม เป็นต้น
 - เชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม (Industrial Waste) เช่น ยางรถยนต์, และน้ำมันใช้แล้ว เป็นต้น



1) ถ่านหิน (เชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป)



2) Pet Coke (เชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป)



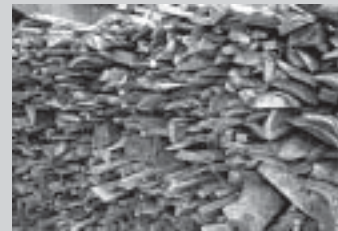
3) แกลบ (เชื้อเพลิงชีวมวล)



4) ชี้เลี้ยง (เชื้อเพลิงชีวมวล)



5) ใบปาล์ม (เชื้อเพลิงชีวมวล)



6) เปลือกไม้ (เชื้อเพลิงชีวมวล)



7) กะลาปาล์ม (เชื้อเพลิงชีวมวล)



8) ยางรถยนต์ (เชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม)



9) น้ำมันใช้แล้ว (เชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม)

รูปที่ 2-19 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์

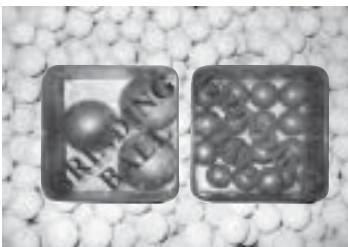


รูปที่ 2-20 ปูนเม็ด (Clinker)

วัตถุดิบสำเร็จที่ถูกเผาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เกิดเป็น ปูนเม็ด (Clinker) และถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในบริเวณที่เรียกว่า “Cooling Zone” โดยการเป่าผ่านปูนเม็ดที่ร้อนจัดเพื่อดึงความร้อนดังกล่าวออกไป ปูนเม็ดที่ได้จะมีลักษณะเป็นก้อนค่อนข้างกลมสีเทาเข้ม

2.7 การบดปูนซีเมนต์

ปูนเม็ดที่ผ่านการเผาและการทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วของระบบหม้อเผาแล้ว จะถูกลำเลียงผ่านเครื่องย่อย เพื่อย่อยปูนเม็ดให้มีขนาดเล็กลงและอยู่ในพิกัดควบคุมที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 เซนติเมตร จากนั้นจะถูกลำเลียงไปเก็บยังไซโลเก็บปูนเม็ด



รูปที่ 2-22 ลูกบด (Grinding Ball)



รูปที่ 2-23 ปูนซีเมนต์ (Cement)



รูปที่ 2-21 หม้อบดปูนซีเมนต์ (Cement Mill)

การบดปูนซีเมนต์ (Cement Grinding) เริ่มจากการลำเลียงปูนเม็ด, และยิปซัม (กรณีผลิตปูนซีเมนต์ผสม เช่น ปูนตราเสือ, และปูนตราแรด จะมีการลำเลียงหินปูนเพิ่มขึ้นอีกชนิดหนึ่งด้วย) จากไซโลมาเก็บไว้ใน Hopper จากนั้นทำการป้อนวัตถุดิบทั้งหมดผ่าน Roller Press เพื่อย่อยให้มีขนาดเล็กลงก่อนจะป้อนเข้าสู่ หม้อบดปูนซีเมนต์ (Cement Mill) ในหม้อบดปูนซีเมนต์จะประกอบไปด้วยห้องบด 2 ห้อง ได้แก่ ห้องบดที่ 1 (Chamber 1) ทำหน้าที่บดวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปให้มีขนาดเล็กลงโดยการกระแทกหรือเป็นการบดหยาบ ลูกบด (Grinding Ball) ที่ใช้ในห้องบดที่ 1 จะมีขนาดใหญ่กว่าห้องที่ 2 สำหรับห้องบดที่ 2 (Chamber 2) ทำหน้าที่บดละเอียดโดยมีลูกบอลขนาดเล็กทำหน้าที่ขัดสีให้มีขนาดละเอียดมากขึ้น ทั้งนี้ในขณะทำการบดอาจมีการฉีดน้ำสำหรับหล่อเย็นภายในหม้อบดเพื่อไม่ให้มีอุณหภูมิภายในหม้อบดสูงเกินไป ปูนซีเมนต์ที่ผ่านการบดในห้องบดที่ 2 จะถูกลมดูดเข้าเครื่องคัดแยก ซึ่งทำหน้าที่คัดแยกขนาดปูนซีเมนต์ให้ได้ความละเอียดตามที่ต้องการ สำหรับ ปูนซีเมนต์ (Cement) ที่มีความละเอียดตามต้องการแล้วจะถูกลำเลียงไปเก็บยัง ไซโลเก็บปูนซีเมนต์ (Cement Silo) ต่อไป ส่วนปูนซีเมนต์ที่มีขนาดหยาบจะถูกป้อนกลับไปยังหม้อบดปูนซีเมนต์เพื่อทำการบดซ้ำให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นจนได้ขนาดที่ต้องการ



รูปที่ 2-24 ไซโลเก็บปูนซีเมนต์ (Cement Silo)

2.8 การบรรจุและการขนส่งปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ผ่านการบดเรียบร้อยแล้วจะถูกลำเลียงไปเก็บยังไซโลเก็บปูนซีเมนต์เพื่อรอ การบรรจุปูนซีเมนต์ (Cement Dispatching) และการขนส่งปูนซีเมนต์ (Cement Transporting) ต่อไป

การบรรจุปูนซีเมนต์ แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. ปูนซีเมนต์ผง : ปูนซีเมนต์จากไซโลจะถูกลำเลียงและเป่าลงสู่เต้าปูนของรถปูนซีเมนต์ผง หรือของรถไฟ โดยตรง
2. ปูนซีเมนต์ถุง : ปูนซีเมนต์จากไซโลจะถูกลำเลียงเข้า เครื่องบรรจุปูนซีเมนต์ถุง (Cement Packer) ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการขนส่งและเพื่อใช้สำหรับงานขนาดเล็กได้สะดวกขึ้น โดยทั่วไป ปูนซีเมนต์ที่บรรจุใส่ถุง มีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม (หรืออาจมีค่าอื่น ๆ ได้ ตามที่บริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์กำหนด)

จากนั้นทำการขนส่งปูนซีเมนต์ไปยังร้านค้า, โรงงานอุตสาหกรรมคอนกรีต, หรือหน่วยงานก่อสร้างต่าง ๆ โดยการขนส่งด้วยรถปูนซีเมนต์, รถไฟ, หรือเรือ เพื่อนำปูนซีเมนต์ไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่าง ๆ ต่อไป



ก) การบรรจุปูนซีเมนต์ใส่รถปูนซีเมนต์ผง



ข) การบรรจุปูนซีเมนต์ใส่ถุง



รูปที่ 2-25 การบรรจุปูนซีเมนต์



รถปูนซีเมนต์ผง 2 เต้า



รถปูนซีเมนต์ผง 4 เต้า



รถปูนซีเมนต์ผง กลัวยทอม

ก) รถปูนซีเมนต์ผง



ข) รถปูนซีเมนต์ถุง



ค) รถไฟ



ง) เรือ

รูปที่ 2-26 พาหนะที่ใช้ในการขนส่งปูนซีเมนต์



2.9 การเก็บรักษาปูนซีเมนต์

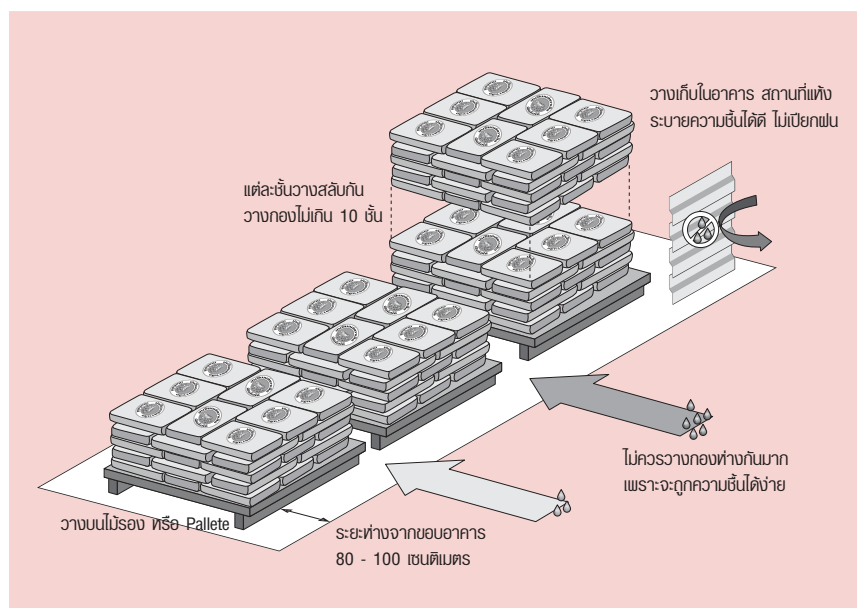


รูปที่ 2-27 การเก็บรักษาปูนซีเมนต์
ผงไว้ในไซโลปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่ไวต่อความชื้นสูง ดังนั้นถ้าหากสามารถเก็บปูนซีเมนต์ไว้ในที่แห้งก็จะสามารถรักษาคุณภาพของปูนซีเมนต์ไว้ได้ ปูนซีเมนต์ที่เก็บหากสัมผัสกับความชื้นจะทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังต่ำกว่าปูนซีเมนต์ที่เก็บไว้ในที่แห้ง ดังนั้น จึงไม่ควรเก็บปูนซีเมนต์หรือให้มีปูนซีเมนต์ตกค้างอยู่ในไซโลหรือโรงเก็บเป็นเวลานาน

โรงงานอุตสาหกรรมคอนกรีตขนาดกลางและขนาดใหญ่ เช่น โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป, และโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ นิยมใช้ปูนซีเมนต์ถุง โดยทำการเก็บปูนซีเมนต์ไว้ในไซโลปูนซีเมนต์ ไซโลไม่ควรมีรูรั่วหรือรอยแยกที่ทำให้น้ำหรือความชื้นเข้ามาภายในได้ เพื่อป้องกันให้ความชื้นภายในไซโลมีค่าต่ำที่สุด

ร้านค้าจำหน่ายปูนซีเมนต์ โรงงานคอนกรีตขนาดเล็ก และหน่วยงานก่อสร้างขนาดเล็ก ซึ่งนิยมใช้ปูนซีเมนต์ถุง ควรมีที่กองเก็บปูนซีเมนต์ที่ดีพอสมควร ให้ป้องกันน้ำและความชื้นได้ มิฉะนั้นจะทำให้ปูนซีเมนต์เสื่อมคุณภาพได้ การเก็บปูนซีเมนต์จำนวนมากนั้นควรทำโรงเก็บให้ตีมีพื้นรองรับที่แข็งแรงเพราะปูนซีเมนต์มีน้ำหนักมากควรทำเป็นพื้นคอนกรีตและมีร่องที่พื้นก่อนวางถุงปูนซีเมนต์ ถ้าเป็นพื้นดินควรยกพื้นไม้ให้สูงกว่าดินเล็กน้อย เพื่อกันความชื้นจากพื้นดิน ตัวโรงเก็บจะต้องมีหลังคาและฝากันอย่างมิดชิด ไม่ให้ฝนสาดเข้าได้ การกองเก็บปูนซีเมนต์ควรกองให้ชิดกัน เพื่อไม่ให้ลมผ่านได้ เพราะลมที่ผ่านไปมานั้นจะนำความชื้นมาด้วย และควรจัดกองให้เป็นระเบียบ ไม่ควรกองชิดฝาและไม่ควรกองสูงนัก เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้ ซึ่งจะต้องหมุนเวียนนำปูนซีเมนต์ที่กองเก็บไว้นานไปใช้ก่อนเป็นลำดับไป และไม่ควรเก็บไว้นานเกินกว่า 2 เดือน หากเป็นหน้าฝนก็ไม่ควรเกินกว่า 1 เดือน ในบางกรณีอาจจำเป็นที่จะต้องกองปูนซีเมนต์ไว้กลางแจ้ง หรือทำถังไม้และเปิดถุงเทใส่ไว้ในถังเพื่อสะดวกในการใช้งาน ควรจะหาไม้มาทำเป็นพื้นหรือมีผ้าใบหรือพลาสติกเตรียมไว้เพื่อคลุมกันฝนและความชื้น



รูปที่ 2-28 การเก็บรักษาปูนซีเมนต์ถุง

เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, “คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, “รายงานการพัฒนาอย่างยั่งยืน ประจำปี 2546”, 2546.
- 3 เอกสารวิชาการของบริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, 2547.
- 4 Portland Cement Association, “Design and Control of Concrete Mixtures : Portland, Blended, and Other Hydraulic Cements”, Concrete Information, 2002.

คุณสมบัติของปูนซีเมนต์

บทที่

3



รูปที่ 3-1 เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีของปูนซีเมนต์

บทคัดย่อ

ปูนซีเมนต์ มีลักษณะเป็นผงละเอียด สามารถเกิดการก่อตัวและการแข็งตัวได้ด้วยการทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งเรียกว่า “ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction)” ทำให้มีคุณสมบัติในการรับแรงได้

การทำความเข้าใจองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ จะช่วยให้สามารถแปลความหมายผลการทดสอบปูนซีเมนต์ได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติของปูนซีเมนต์มีผลสำคัญต่อคุณสมบัติของมอร์ตาร์และคอนกรีต

เนื้อหาในบทนี้ ได้กล่าวถึง คุณสมบัติของสารประกอบหลัก 4 ชนิด ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S), ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S), ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A), และเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C_4AF) รวมทั้งสารประกอบรอง ได้แก่ ยิบซัม, Free Lime, แมกนีเซียมออกไซด์, และอัลคาไลออกไซด์ นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึง การก่อตัวและการแข็งตัว, ปฏิกิริยาไฮเดรชัน, การพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์, ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน, คุณสมบัติทางเคมีอื่น ๆ (การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา, และกากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง), และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ที่สำคัญ ได้แก่ ขนาดอนุภาคและความละเอียด, ความอยู่ตัว, ความชื้นเหลว, ระยะเวลาการก่อตัว, การก่อตัวผิดปกติ, กำลังอัด, และความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน



3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ ซึ่งการทำความเข้าใจเรื่องดังกล่าวนี้ จะช่วยให้สามารถแปลความหมายผลการทดสอบปูนซีเมนต์ได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติของปูนซีเมนต์มีผลสำคัญต่อคุณสมบัติของมอร์ตาร์และคอนกรีต

ส่วนเนื้อหาเกี่ยวกับประเภทของปูนซีเมนต์, การประยุกต์ใช้งานปูนซีเมนต์แต่ละประเภท, และข้อกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์แต่ละประเภท จะได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ต่อไป

3.2 องค์ประกอบทางเคมี

เมื่อวัตถุดิบได้รับการเผาในหม้อเผา ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 น้ำจะระเหยออกจากส่วนผสมทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะถูกขับออกจากหินปูนหรือดินสอพอง เหลือไว้เพียง CaO

ขั้นตอนที่ 3 เกิดการหลอมตัวของออกไซด์ระหว่างแคลเซียม (จากหินปูน, หรือดินสอพอง) กับ ซิลิกา อลูมินา และเหล็ก (จากดินดำหรือดินเหนียว, หรือดินดาน)

ขั้นตอนที่ 4 เกิดการรวมตัวทางเคมีของออกไซด์ต่าง ๆ และตามด้วยกระบวนการตกผลึกเมื่อทำให้เย็นตัวลง

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ได้จะประกอบด้วยออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่ คือ

- ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , และ Fe_2O_3 ซึ่งรวมกันประมาณ 90% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์
- ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , และยิปซัม ปริมาณออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แสดงใน ตารางที่ 3-1

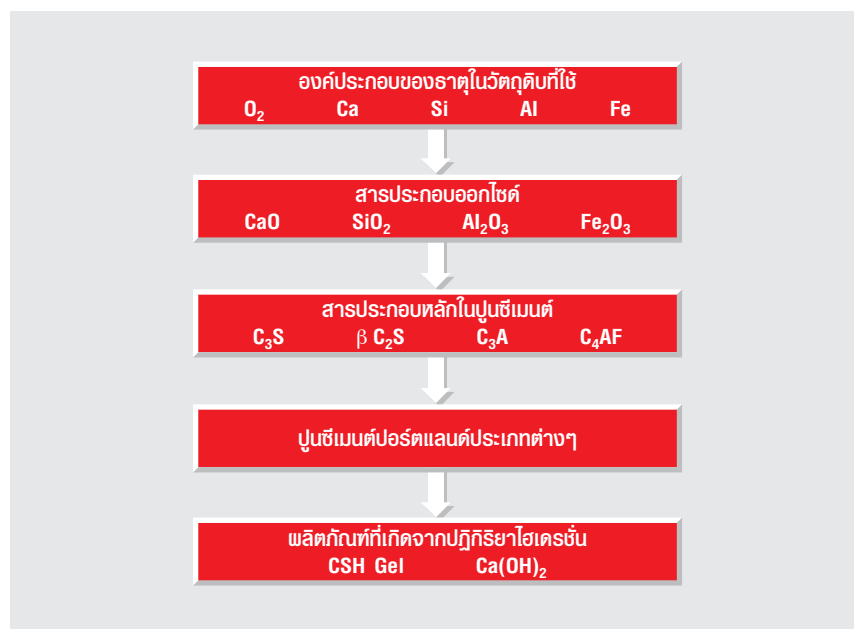
ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	
CaO	60 - 67
SiO_2	17 - 25
Al_2O_3	3 - 8
Fe_2O_3	0.5 - 6.0
ออกไซด์รอง	
MgO	0.1 - 5.5
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	0.5 - 1.3
TiO_2	0.1 - 0.4
P_2O_5	0.1 - 0.2
SO_3	1 - 3

ตารางที่ 3-1 ค่าออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ออกไซด์หลัก จะรวมตัวในระหว่างการผลิตปูนเม็ด (Clinker) เกิดเป็นสารประกอบหลักที่สำคัญ 4 ชนิด ดังแสดงใน ตารางที่ 3-2

ชื่อสารประกอบหลัก	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate)	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
ดิแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate)	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium Aluminoferrite)	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

ตารางที่ 3-2 สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์



รูปที่ 3-2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของการผลิตและการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์

การหาเปอร์เซ็นต์ของแต่ละองค์ประกอบของปูนซีเมนต์สามารถคำนวณได้จาก มอก. 15 เล่ม 18 การวิเคราะห์ทางเคมีของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก หรือ ASTM C 114 หรือใช้สูตรการคำนวณของ Bogue ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณ } \text{C}_3\text{S} &= 4.07 (\text{CaO}) - 7.60 (\text{SiO}_2) - 6.72 (\text{Al}_2\text{O}_3) - \\
 &\quad 1.43 (\text{Fe}_2\text{O}_3) - 2.85 (\text{SO}_3) \\
 \text{ปริมาณ } \text{C}_2\text{S} &= 2.87 (\text{SiO}_2) - 0.754 (\text{C}_3\text{S}) \\
 \text{ปริมาณ } \text{C}_3\text{A} &= 2.65 (\text{Al}_2\text{O}_3) - 1.69 (\text{Fe}_2\text{O}_3) \\
 \text{ปริมาณ } \text{C}_4\text{AF} &= 3.04 (\text{Fe}_2\text{O}_3)
 \end{aligned}$$



ตัวเลขในวงเล็บ คือ เปอร์เซ็นต์ของออกไซด์ในเนื้อของปูนซีเมนต์ทั้งหมด และปริมาณ CaO ในสูตรที่ใช้คำนวณ ต้องเป็น CaO ที่ทำปฏิกิริยาเท่านั้น ไม่รวม Free Lime

ตัวอย่างการคำนวณหาสารประกอบหลักตามสูตรของ Bogue อยู่ใน ตารางที่ 3-3

ออกไซด์ต่างๆ ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (%)		สารประกอบหลัก คำนวณจากสมการของ Bogue
CaO	64.73	$C_3S = 4.07 \times (64.73 - 1.60) - 7.60 \times (21.20) -$
SiO ₂	21.20	$6.72 \times (5.22) - 1.43 \times (3.08) -$
Al ₂ O ₃	5.22	$2.85 \times (2.01)$
Fe ₂ O ₃	3.08	$= 50.6\%$
		$C_2S = 2.87 \times (21.20) - 0.754 \times (50.6)$
MgO	1.04	$= 22.7\%$
SO ₃	2.01	
Na ₂ O	0.19	$C_3A = 2.65 \times (5.22) - 1.69 \times (3.08)$
		$= 8.6\%$
K ₂ O	0.42	
Loss on Ignition	1.45	$C_4AF = 3.04 \times (3.08)$
Insoluble Residue	0.66	$= 9.4\%$
Free Lime	1.60	

ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างการคำนวณหาสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์



ก) ผลึก C_3S (Alite) ในปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (ขยาย 3,000 เท่า)



ข) ส่วนประกอบของปูนเม็ด ประกอบด้วย C_3S (Alite) ซึ่งมีสีอ่อนกว่า และรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม ส่วนผลึกที่มีลักษณะกลมและมีสีทึบคือ C_2S (Belite) (ขยาย 400 เท่า)

รูปที่ 3-3 รูปร่างของ C_3S ซึ่งเป็นผลึกรูป 6 เหลี่ยม และ C_2S เป็นเม็ดกลมสีดำ 8

แต่เนื่องจากการใช้สูตรของ Bogue มีความไม่แน่นอนอยู่ด้วย ดังนั้นอาจใช้การวิเคราะห์ด้วย XRD (X-Ray Diffraction) [ASTM C 1365] ซึ่งให้ค่าที่มีความแม่นยำถูกต้องสูงกว่า

3.3 คุณสมบัติของสารประกอบหลัก

คุณสมบัติของสารประกอบหลักทั้ง 4 ชนิด มีผลต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ดังนี้

1. ไตรซิลิเกต (C_3S หรือ Alite)

C_3S เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึก 6 เหลี่ยม มีสีอ่อนกว่า C_2S ดัง รูปที่ 3-3 คุณสมบัติของ C_3S จะเหมือนกับคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดการก่อตัวและการแข็งตัวภายใน 2 - 3 ชั่วโมง การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อน 500 จูลต่อกรัม และจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก ดัง รูปที่ 3-4 โดยทั่วไปแล้วกำลังอัดในช่วงแรกของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปอร์เซ็นต์ของ C_3S เพิ่มขึ้น โดยปริมาณยิปซัมจะมีผลต่อกำลังอัดของ C_3S ด้วย ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_3S อยู่ประมาณ 50 - 70% ดัง ตารางที่ 3-4

2. ไดซิลิเกต (C_2S หรือ Belite)

C_2S เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างกลม โดย C_2S มีอยู่หลายรูปแต่มีเพียง βC_2S เท่านั้นที่มีความเสถียร ณ อุณหภูมิทั่วไป βC_2S มีคุณสมบัติยืดยาว เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวและเกิดความร้อน 250 จูลต่อกรัม เมื่อแข็งตัวแล้วจะพัฒนากำลังอัดอย่างช้าๆ ในช่วงแรก และกำลังอัดจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีอายุ

มากกว่า 7 วัน แต่ในระยะยาวจะได้กำลังอัดใกล้เคียงกับ C_3S ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_2S อยู่ประมาณ 15 - 30%

3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

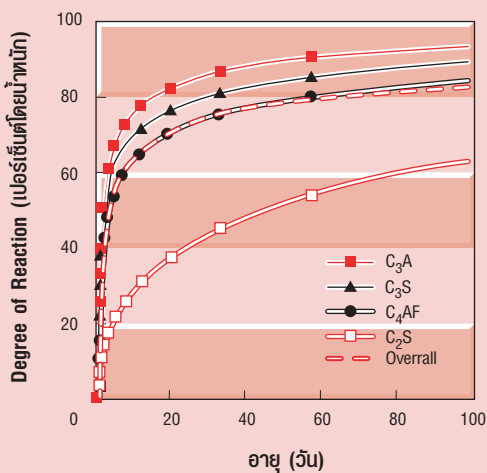
C_3A เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีก่อให้เกิด Flash Set และเกิดความร้อนสูงในช่วงแรก ประมาณ 850 จูลต่อกรัม การป้องกัน Flash Set ทำได้โดยการเติมยิบซัมลงไปในช่วงขั้นตอนการบดปูนซีเมนต์เพื่อทำหน้าที่หน่วงการก่อตัวเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาของ C_3A และจะพัฒนากำลังอัดในช่วง 1 - 2 วัน แต่มีค่ากำลังอัดค่อนข้างต่ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_3A อยู่ประมาณ 5 - 10% นอกจากนี้ยังพบว่า ปูนซีเมนต์ที่มี C_3A ต่ำกว่า จะสามารถทนทานต่อซัลเฟตได้ดีกว่า

4. เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C_4AF หรือ Celite)

C_4AF เป็นสารประกอบที่ได้จากการใช้วัตถุดิบที่มีสารประกอบแร่เหล็กและอลูมิเนียม เพื่อลดอุณหภูมิของปูนเม็ดระหว่างกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ และจะมีผลต่อสีของปูนซีเมนต์ โดยทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา C_4AF มีคุณสมบัติทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างรวดเร็ว และก่อตัวภายในไม่กี่นาที ความร้อนที่เกิดขึ้นประมาณ 420 จูลต่อกรัม ค่ากำลังอัดของ C_4AF มีค่าต่ำและไม่แน่นอน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_4AF อยู่ประมาณ 5 - 15%

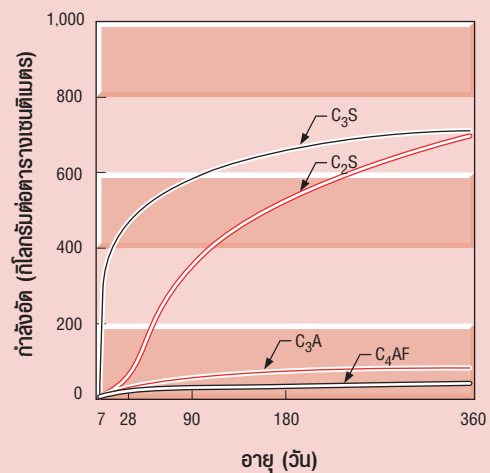
สารประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์ของปูนเม็ด)
C_3S (Alite)	50 - 70
C_2S (Belite)	15 - 30
C_3A	5 - 10
C_4AF (Celite)	5 - 15

ตารางที่ 3-4 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบหลักของปูนเม็ด 8



Overall Us: C_3S 55%, C_2S 10%, C_3A 10%, และ C_4AF 8%

ก) อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน 8



ข) กำลังอัดของสารประกอบหลัก 6

รูปที่ 3-4 การพัฒนากำลังอัดของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์



คุณสมบัติ	C ₃ S (Alite)	C ₂ S (Belite)	C ₃ A	C ₄ AF (Celite)
1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Rate of Hydration)	เร็ว (ชั่วโมง)	ช้า (วัน)	ทันทีทันใด	เร็วมาก (นาทีก)
2. การพัฒนากำลังอัด (Strength Development)	เร็ว (วัน)	ช้า (สัปดาห์)	เร็วมาก (วันเดียว)	เร็วมาก (วันเดียว)
3. กำลังอัดประลัย (Ultimate Strength)	สูง	ค่อนข้างสูง	ต่ำ	ต่ำ
4. ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Heat of Hydration)	ปานกลาง (500 จูลต่อกรัม)	น้อย (250 จูลต่อกรัม)	สูงมาก (850 จูลต่อกรัม)	ปานกลาง (420 จูลต่อกรัม)
5. คุณสมบัติอื่นๆ	คุณสมบัติเหมือน ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์	-	ไม่เสถียรในน้ำ และถูกซัลเฟต ทำลายได้ง่าย	ทำให้ปูนซีเมนต์ มีสีเทา

ตารางที่ 3-5 สรุปคุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

3.4 คุณสมบัติของสารประกอบรอง

1. ยิปซั่ม (Gypsum หรือ Calcium Sulphate Dihydrate หรือ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

ยิปซั่มเป็นหนึ่งในสามรูปแบบของสารประกอบซัลเฟตได้แก่

1. ยิปซั่ม (Gypsum หรือ Calcium Sulphate Dihydrate หรือ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
2. Anhydrite (หรือ Anhydrous Calcium Sulphate หรือ CaSO_4)
3. Plaster หรือ Hemihydrate (หรือ Plaster of Paris หรือ Bassanite หรือ Calcium Sulphate Hemihydrate หรือ $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)

โดยจะมีการเติมยิปซั่มในระหว่างการบดปูนซีเมนต์ เพื่อทำปฏิกิริยากับ C_3A เป็น Ettringite (Calcium Trisulphoaluminate) เพื่อหน่วงการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A หรือเป็นการควบคุมระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ ถ้าไม่ได้เติมยิปซั่ม ปูนซีเมนต์จะเกิดการก่อตัวอย่างรวดเร็ว ปริมาณยิปซั่มที่ใส่ต้องเหมาะสม เพื่อให้ปูนซีเมนต์เกิดกำลังอัดสูงสุด และเกิดการหดน้อยที่สุด โดยปริมาณยิปซั่มที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ปริมาณอัลคาไลออกไซด์ ได้แก่ Na_2O และ K_2O
2. ปริมาณ C_3A
3. ความละเอียด (Fineness) ของปูนซีเมนต์

นอกจากนี้จะต้องมีการควบคุมปริมาณยิปซั่มที่ใส่ไม่ให้มากเกินไป เพราะอาจส่งผลให้เกิดการแตกร้าวเนื่องจากปริมาตรที่เพิ่มขึ้นจากการเกิด Ettringite มากเกินไป

2. Free Lime (CaO)

Free Lime สามารถเกิดได้ 2 กรณี ได้แก่

1. เมื่อวัตถุดิบมีปริมาณ CaO มากเกินไป ทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ SiO_2 , Al_2O_3 , และ Fe_2O_3 ได้หมด
2. เมื่อวัตถุดิบมีปริมาณ CaO ไม่มาก แต่ทำปฏิกิริยากับออกไซด์ต่างๆ ไม่สมบูรณ์ Free Lime จะทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ หลังจากทำปูนซีเมนต์

แข็งตัวแล้ว ทำให้เกิดการขยายปริมาตร ที่อาจส่งผลให้เกิดการแตกร้าว และเสียหายได้โดยจะเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ความไม่อยู่ตัวเนื่องจาก Lime (Unsoundness Due to Lime)”

นอกจากปริมาณ CaO ที่มีผลต่อความไม่อยู่ตัวแล้ว ขนาดของอนุภาค และการกระจายตัวของปูนซีเมนต์ก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลเช่นกัน จากเหตุผลนี้ มาตรฐานข้อกำหนดคุณภาพของปูนซีเมนต์ มอก. 15 เล่ม 1 และ ASTM C 150 จึงได้มีการกำหนดค่าสูงสุดของปริมาณ Free Lime ไว้ แต่จะใช้วิธีวัดค่าการขยายตัวแทน

3. แมกนีเซียมออกไซด์ หรือ แมกนีเซีย

(Magnesium Oxide หรือ Magnesite หรือ MgO)

วัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์โดยปกติจะมี MgCO_3 เมื่อเผาจะเกิดการแยกตัวเป็น MgO และ CO_2 แมกนีเซียออกไซด์บางส่วนจะหลอมเป็นปูนเม็ด ที่เหลือจะอยู่ในรูปผลึก Periclase (MgO) ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะเหมือนกับ CaO คือ ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดความไม่อยู่ตัว (Unsoundness) และอาจส่งผลให้เกิดการแตกร้าวได้

การขยายตัวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. ปริมาณของ MgO ในปูนซีเมนต์

2. ขนาดของ MgO

ความไม่อยู่ตัวของ MgO จะขึ้นอยู่กับขนาดของผลึก เพราะถ้าผลึกมีขนาดเล็ก ปฏิกิริยาไฮเดรชันก็จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ก่อให้เกิดการขยายตัวของปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว

ที่อุณหภูมิปกติ MgO จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ช้ามากโดยใช้เวลาเป็นปี ๆ ดังนั้นการทดสอบการขยายตัวในช่วงเวลาสั้น ๆ จึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้จึงได้นำวิธีการของ Autoclave มาใช้ในการทดสอบการขยายตัว [ASTM C 151] อีกทั้งยังเป็นวิธีที่สามารถวัดค่าการขยายตัวรวมอันเกิดจาก CaO และ MgO ได้อีกด้วย

4. อัลคาไลออกไซด์

(Alkali Oxides หรือ Na_2O , K_2O)

อัลคาไลออกไซด์ ที่อยู่ในปูนซีเมนต์นี้จะส่งผลเสีย ในกรณีที่ใช้มวลรวมบางประเภทที่สามารถทำปฏิกิริยากับอัลคาไลหรือต่างในปูนซีเมนต์ มาผสมเป็นคอนกรีต จะทำให้เกิด “ปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction หรือ AAR)” ผลจากปฏิกิริยาจะก่อให้เกิดการขยายตัวดันให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหาย ยากต่อการแก้ไข ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้มวลรวมที่ทำปฏิกิริยากับอัลคาไลได้ ควรเลือกใช้ปูนซีเมนต์ที่มีอัลคาไลต่ำ กล่าวคือ ปริมาณอัลคาไลในปูนซีเมนต์ หรือ Total Alkalies (หรือ Eq. Na_2O) จะต้องไม่เกิน 0.6% โดยสามารถคำนวณหาค่า Total Alkalies ได้จากสูตร

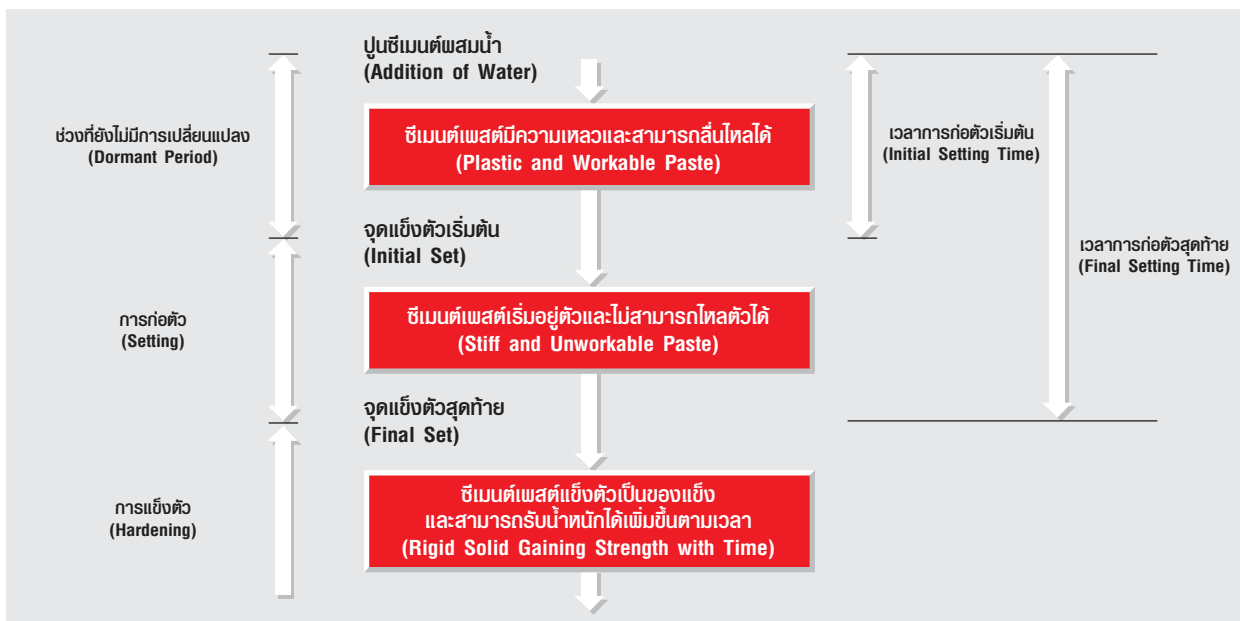
$$\text{Total Alkalies} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 (\text{K}_2\text{O})$$



3.5 การก่อตัวและการแข็งตัว

ปูนซีเมนต์ มีลักษณะเป็นผงละเอียด สามารถเกิดการก่อตัวและการแข็งตัวได้ด้วยการทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งเรียกว่า “ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction)” ทำให้มีคุณสมบัติในการรับแรงได้

ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำ จะก่อให้เกิดซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาพเหลวและสามารถสั่นไหลได้ในเวลาหนึ่ง โดยจะเรียกช่วงเวลาที่คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า “Dormant Period” หลังจากนั้น ซีเมนต์เพสต์จะเริ่มจับตัว (Stiff) ถึงแม้ว่าจะยังนุ่มอยู่ แต่ก็ไม่สามารถไหลตัวได้อีกแล้ว (Unworkable) จุดนี้จะเป็นจุดที่เรียกว่า “จุดแข็งตัวเริ่มต้น (Initial Set)” และระยะเวลาตั้งแต่ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำจนถึงจุดนี้ เรียกว่า “เวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time)” การก่อตัวของซีเมนต์เพสต์จะยังคงดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่เป็นของแข็งที่คงสภาพ (Rigid Solid) ซึ่งจะเรียกว่า “จุดแข็งตัวสุดท้าย (Final Set)” และเวลาที่ใช้จนถึงจุดดังกล่าว เรียกว่า “เวลาการก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time)” ซีเมนต์เพสต์ยังคงแข็งตัวต่อไป จนกระทั่งสามารถรับน้ำหนักได้ กระบวนการทั้งหมดนี้ เรียกว่า “การก่อตัวและการแข็งตัว (Setting and Hardening)” ดังใน รูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 ขั้นตอนการก่อตัวและการแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์

3.6 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน

การก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบของปูนซีเมนต์ โดยปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ

1. อาศัยสารละลาย ปูนซีเมนต์จะละลายในน้ำ ก่อให้เกิด Ions ในสารละลาย และ Ions นี้จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น

2. การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลาย ปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า “Solid State Reaction”

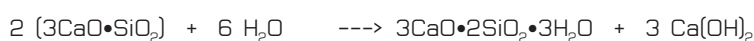
ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยในช่วงแรกจะอาศัยสารละลาย และในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง

ปูนซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ผลึกที่เกิดขึ้นได้อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้แตกต่างจากผลึกที่เกิดขึ้นครั้งแรก ดังนั้นในที่นี้เราจะแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักแต่ละชนิดของปูนซีเมนต์

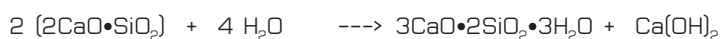
● ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซิลิเกต (C₃S และ C₂S)

ซิลิเกต จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิด “ซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂)” ประมาณ 15 - 25% และสารประกอบ “ซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate หรือ 3CaO•2SiO₂•3H₂O หรือ C₃S₂H₃ หรือ CSH)” ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน และให้ความแข็งแรง ดังสมการต่อไปนี้

สมการของ C₃S



สมการของ C₂S



จากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้ จะเกิด Gel ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือ โครงสร้างไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน โดยองค์ประกอบทางเคมีของ CSH จะขึ้นอยู่กับ อายุ, อุณหภูมิ, และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

Ca(OH)₂ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างมาก คือ มี pH ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้อย่างดี

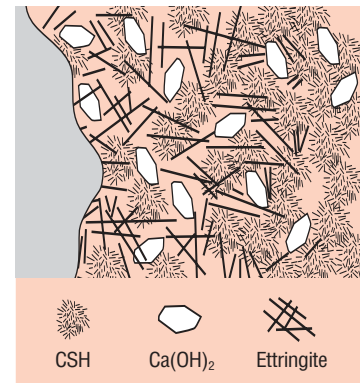
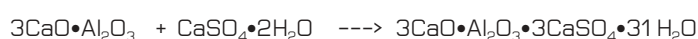
● ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรซิลิเกตอลูมิเนียม (C₃A)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C₃A จะเกิดทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ดังสมการต่อไปนี้

สมการของ C₃A



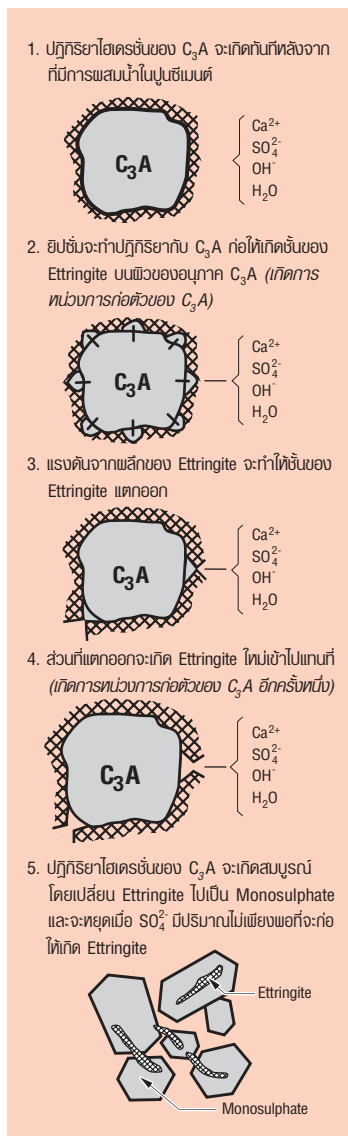
ในกระบวนการบดปูนซีเมนต์ จะมีการใส่ยิบซั่มเข้าไป เพื่อหน่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C₃A ไม่ให้เกิดเร็วเกินไป โดยยิบซั่มที่ใส่จะทำปฏิกิริยากับ C₃A ทำให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาค C₃A ดังสมการต่อไปนี้



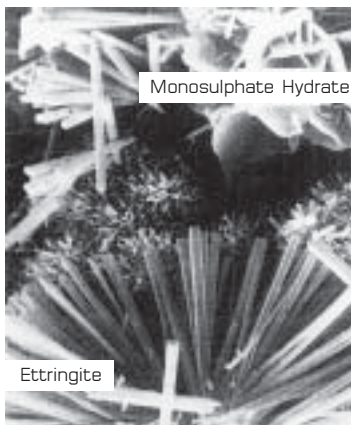
รูปที่ 3-6 แผนภาพแสดงผลึกที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซิลิเกต



รูปที่ 3-7 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว 8



รูปที่ 3-8 กระบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A



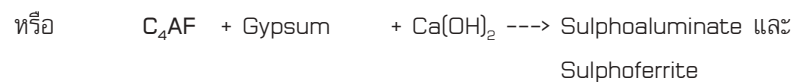
รูปที่ 3-9 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของ Ettringite และ Monosulphate

ชั้นของ Ettringite ก่อให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของ C_3A และทำให้การก่อตัวในช่วงแรกนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3S และ C_3A เป็นส่วนใหญ่ แต่ชั้นของ Ettringite ไม่ได้หยุดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน กล่าวคือ เมื่อเกิด Ettringite จะเกิดแรงดันที่มากจากการเพิ่มปริมาตรของของแข็ง แรงดันนี้จะทำให้ชั้นของ Ettringite แตกออก และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A แต่เมื่อเกิดการแตกตัว จะเกิด Ettringite ใหม่เข้าไปแทนที่เป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนจะเป็นอย่างนี้ไปจนกระทั่ง Sulphate Ions มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด Ettringite จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A โดยเปลี่ยน Ettringite ไปเป็น Monosulphate ดังแสดงใน **รูปที่ 3-8** และ **รูปที่ 3-9**

● ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระคัลเซียมอลูมิเนียมเฟอไรต์ (C_4AF)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_4AF นี้ จะเกิดในช่วงต้น โดย C_4AF จะทำปฏิกิริยากับยิบซั่ม และ $Ca(OH)_2$ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของ Sulphoaluminate และ Sulphoferite ดังสมการต่อไปนี้

สมการของ C_4AF



เวลาที่ใช้เพื่อให้บรรลุ 80% ของปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักทั้ง 4 แสดงใน **ตารางที่ 3-6**

สารประกอบ	เวลา (วัน)
C_3S	10
C_2S	100
C_3A	6
C_4AF	50

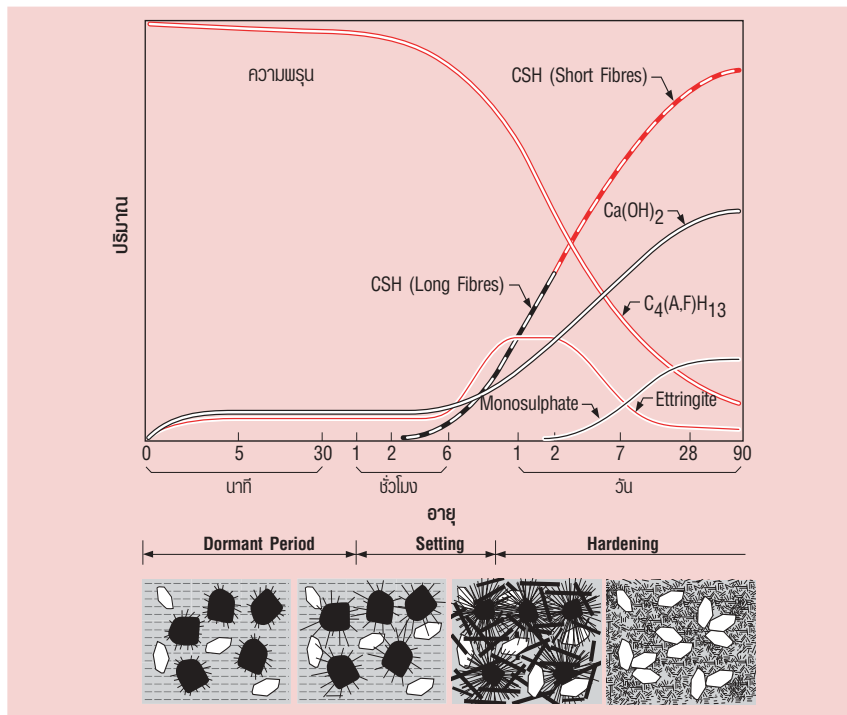
ตารางที่ 3-6 เวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลัก สำเร็จ 80%

3.7 การพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์

ผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยรวมของสารประกอบทั้ง 4 นั้น จะเกิด CSH Gel และ Ettringite เคลือบอยู่บนอนุภาคปูนซีเมนต์ และเป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งอธิบายการเกิด "Dormant Period" อันเป็นช่วงเวลาที่ซีเมนต์เพสต์ไม่ค่อยเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยที่ยังคงสภาพเหลวและสามารถไหลได้ในช่วง 1 - 2 ชั่วโมง

เมื่อสิ้นสุดช่วง Dormant Period จะเข้าสู่จุดแข็งตัวเริ่มต้น (Initial Set) โดย CSH ที่เคลือบอยู่บนอนุภาคปูนซีเมนต์จะเกิดการแตกออกด้วยแรงดัน Osmotic ซึ่งแรงดันนี้เกิดจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของไอออนในสารละลายที่อยู่ระหว่าง Gel กับอนุภาคปูนซีเมนต์ และไอออนในสารละลายที่อยู่รอบ ๆ CSH ทำให้เกิดการทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันต่อไป

ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะมีขนาดใหญ่กว่า 2 เท่าของ ปูนซีเมนต์ก่อนทำปฏิกิริยา และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้จะเข้าไปอุดช่องว่าง ระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ที่ละเอียด จนเกิดผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ ทำให้เกิด การก่อตัวของซีเมนต์เฟส เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยา ไฮเดรชันจะมากขึ้น ทำให้เกิดจุดเชื่อมต่อมากขึ้น จนอนุภาคปูนซีเมนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และกลายเป็นของแข็งในที่สุด ซึ่งถือว่าเข้าสู่จุดแข็งตัวสุดท้าย (Final Set)



รูปที่ 3-10 แผนภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เฟส

จากแผนภาพใน รูปที่ 3-10 แสดงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและ โครงสร้างของซีเมนต์เฟส โดยอนุภาคปูนซีเมนต์จะแสดงด้วยเม็ดสีดำ ในขณะที่ Ca(OH)_2 จะแสดงด้วยรูปหกเหลี่ยม ส่วน Ettringite และ CSH จะแสดงด้วยเส้นสั้นทึบ และเส้นสั้น บาง ตามลำดับ ซึ่งในช่วง Dormant Period อนุภาคปูนซีเมนต์จะอยู่แยกกัน และจะเกิด Ca(OH)_2 กับ Ettringite เป็นส่วนใหญ่ หลังจาก 1 ชั่วโมง CSH Gel จะเริ่มเกิดขึ้นโดยมี รูปร่างเป็นเส้นใยยาว การเกิดและการขยายตัวของ CSH Gel นี้ก่อให้เกิดการก่อตัว ใน ขณะที่ของแข็งมีปริมาณเพิ่มขึ้น ความพรุนของซีเมนต์เฟสจะลดลง และกำลังเริ่มพัฒนาขึ้น

หลังจาก 24 ชั่วโมงไปแล้ว Sulphate Ions ถูกใช้หมดไป ออกไซด์ของอลูมิเนียม และเหล็กเริ่มก่อตัว และ Ettringite ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็น Monosulphate ส่วน C_3S และ C_2S จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างต่อเนื่องได้ CSH ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยสั้น ผลิตภัณฑ์ จากปฏิกิริยาไฮเดรชันทั้งหมดนี้ จะไปอุดช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ ทำให้ความพรุน ของซีเมนต์เฟสลดลงในระยะยาว



3.8 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ และปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ก็จะส่งผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เฟสที่แข็งตัวแล้วด้วยเช่นกัน

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ได้แก่

1. **อายุของซีเมนต์เฟส** ยกเว้นช่วง Dormant Period อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมากที่สุดในช่วงแรก และจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่งเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่ง ปฏิกิริยาจะสิ้นสุดโดยสมบูรณ์

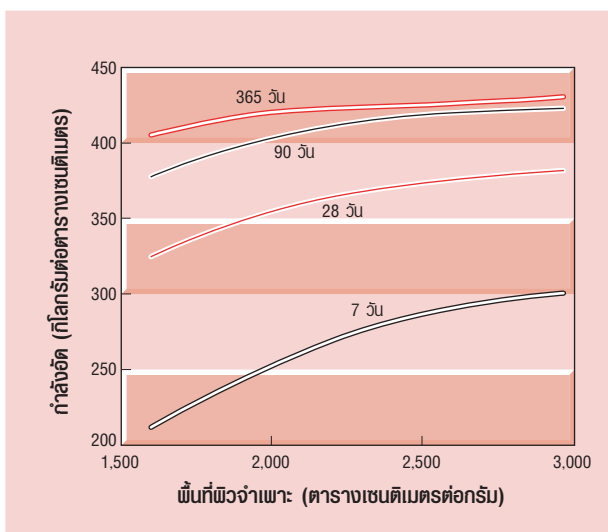
2. **องค์ประกอบของซีเมนต์** อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงแรกเท่านั้นที่จะขึ้นอยู่กับสารประกอบหลักแต่ละสาร โดยปูนซีเมนต์ที่มี C_3S และ C_3A มากจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็ว แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงปลายของแต่ละสารประกอบหลักจะไม่แตกต่างกันนัก

3. **ความละเอียดของปูนซีเมนต์** เมื่อความละเอียดของปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น จะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงแรกสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความละเอียดจะไม่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงปลาย

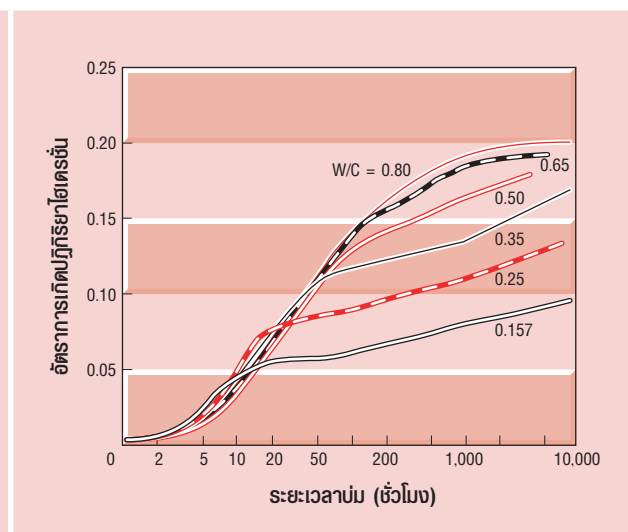
4. **อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์** ในช่วงต้น อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่ในช่วงหลัง ถ้าส่วนผสมมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ลดลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะลดลง ส่งผลให้ทั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยเฉลี่ยและอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลงด้วย

5. **อุณหภูมิ** อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงแรกจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีข้อแม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมินี้ต้องไม่ก่อให้เกิดการแห้งตัวของซีเมนต์เฟส

6. **สารผสมเพิ่ม** มีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน เช่น สารจำพวกน้ำตาล, กรดและเกลือของ Lignosulphonic และประเภทเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชัน เช่น $CaCl_2$



รูปที่ 3-11 ผลของความละเอียดในรูปของค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีต่อการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีต



รูปที่ 3-12 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

คุณสมบัติของปูนซีเมนต์	ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time)	กำลังระยะต้น (Early Strength)	กำลังระยะปลาย (Late Strength)	ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Heat of Hydration)	ความอยู่ตัว (Soundness)	ความทนทาน (Durability)
สารประกอบในปูนเม็ด						
C ₃ S	○	○	○	○		
C ₂ S			○			
C ₃ A	○	○	○	○		○
C ₄ AF			○			
Free CaO					○	
MgO					○	
K ₂ O, Na ₂ O	○	○	○			○
SO ₃	○	○	○			
ยิบซัม (SO ₃ ในปูนซีเมนต์)	○	○	○		○	
ความละเอียด (Fineness)	○	○	○			

ตารางที่ 3-7 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์

3.9 คุณสมบัติทางเคมีอื่น ๆ

3.9.1 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition หรือ LOI)

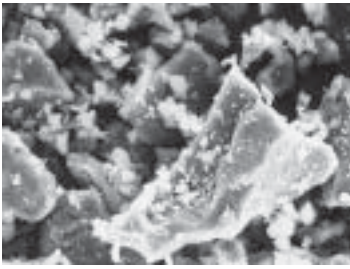
Loss on Ignition หรือ LOI เป็นการหาการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาของปูนซีเมนต์โดยการนำตัวอย่างปูนซีเมนต์ที่รู้น้ำหนักแน่นอนมาทำการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 900 - 1000 °C จนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่ จากนั้นคำนวณน้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างซึ่งค่า LOI จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 3% โดยปกติแล้วค่า LOI จะบ่งบอกว่าปูนซีเมนต์ได้เกิด Prehydration ขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเก็บปูนซีเมนต์ที่ไม่เหมาะสมหรืออาจเก็บนานเกินไป สำหรับการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 18 หรือ ASTM C 114



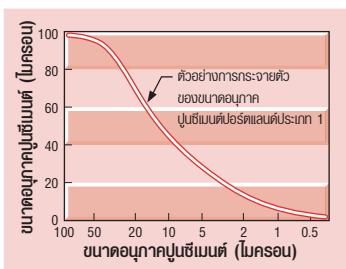
รูปที่ 3-13 เครื่องมือทดสอบหาการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาและกากที่ไม่ละลายในกรดและด่างของปูนซีเมนต์

3.9.2 กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (Insoluble Residue)

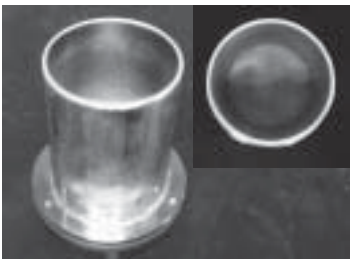
กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง คือ กากในปูนซีเมนต์ที่ไม่ละลายทั้งในสารละลายกรดและสารละลายด่าง ทั้งนี้การทดสอบดังกล่าวเป็นการตรวจสอบว่าปูนซีเมนต์มีสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ละลายในกรดต่างมากน้อยเพียงใด โดยกากดังกล่าวส่วนใหญ่แล้วจะเป็นพวกดินหรือทรายที่ปนเปื้อนในปูนซีเมนต์ สำหรับการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 18 หรือ ASTM C 114



รูปที่ 3-14 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของอนุภาคปูนซีเมนต์



รูปที่ 3-15 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 8



รูปที่ 3-17 การทดสอบหาความละเอียดของปูนซีเมนต์โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 45 ไมครอน (No. 325)



รูปที่ 3-18 แสดงการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคปูนซีเมนต์ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Analyzer

3.10 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์

ข้อกำหนดคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ นอกจากจะมีการกำหนดองค์ประกอบทางเคมี (Chemical Composition) แล้ว ยังมีการกำหนดคุณสมบัติทางฟิสิกส์ (Physical Properties) ด้วย การทำความเข้าใจคุณสมบัติทางฟิสิกส์นี้ จะช่วยในการแปลความหมายผลการทดสอบปูนซีเมนต์ได้อย่างถูกต้อง โดยปูนซีเมนต์แต่ละประเภทจะมีข้อกำหนดคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ เหมาะสำหรับการประเมินคุณสมบัติของปูนซีเมนต์มากกว่าคุณสมบัติของคอนกรีต ส่วนการชักตัวอย่างปูนซีเมนต์สำหรับการทดสอบ ให้ทำตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 16 หรือ ASTM C 183

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญของปูนซีเมนต์มีดังนี้

3.10.1 ขนาดอนุภาคและความละเอียด (Particle Size and Fineness)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยอนุภาคที่เป็นเหลี่ยมมุม ดังแสดงใน รูปที่ 3-14 และมีขนาดต่าง ๆ กัน ซึ่งอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณ 95% จะมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 45 ไมครอน ดัง รูปที่ 3-15

ความละเอียดของปูนซีเมนต์จะมีผลต่อความร้อนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดสูงกว่าหรือมีขนาดเล็กกว่า จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันสูงกว่า และมีการพัฒนากำลังที่สูงกว่าอีกด้วย ซึ่งจะสังเกตได้ชัดเจนในช่วงอายุ 7 วันแรก

ปัจจุบันค่าความละเอียดจะวัดในหน่วยพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์โดยใช้เครื่องมือ Blaine Air Permeability ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 6 หรือ ASTM C 204 นอกจากนี้ อาจใช้วิธีทดสอบ Wagner Turbidimeter Test ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 5 หรือ ASTM C 115 ดัง รูปที่ 3-16 หรืออาจใช้วิธีร่อนผ่านตะแกรงขนาด 45 ไมครอน (No. 325) ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 4 หรือ ASTM C 430 ดัง รูปที่ 3-17 และอาจใช้การทดสอบ Electronic (X-Ray or Laser) Particle Size Analyzer ดัง รูปที่ 3-18



รูปที่ 3-16 เครื่องมือทดสอบหาความละเอียดของปูนซีเมนต์

3.10.2 ความอยู่ตัว (Soundness)

ความอยู่ตัว หรือ Soundness คือ ความสามารถของปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วยังรักษาปริมาตรไว้ได้ ความไม่อยู่ตัวของปูนซีเมนต์หรือการขยายตัวเกิดจากมีแมกนีเซียมออกไซด์ในรูปผลึก Periclase หรือแมกนีเซีย และหรือ Free Lime มากเกินไป ทำให้เกิดการขยายตัวจนแตกร้าวได้

การวัดค่าความอยู่ตัว ทำได้โดยการทดสอบการขยายตัวโดยวิธีออโตคลേฟ (Autoclave) ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 11 หรือ ASTM C 151 ดัง **รูปที่ 3-19**

3.10.3 ความข้นเหลว (Consistency)

ความข้นเหลว แสดงถึงความสามารถในการเคลื่อนที่หรือการไหลของซีเมนต์เพสต์หรือมอร์ตาร์ที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ โดยปกติแล้วถ้าซีเมนต์เพสต์ที่ทำการผสมมีความข้นเหลวปกติจะมีระยะจมของเครื่อง Vicat Plunger เท่ากับ 10 ± 1 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 8 หรือ ASTM C 187 ตัวอย่างของการทดสอบความข้นเหลวแสดงดัง **รูปที่ 3-20** สำหรับการผสมมอร์ตาร์ สามารถทำการกำหนดค่าอัตราส่วน W/C หรือ Flow อย่างใดอย่างหนึ่งให้คงที่ ซึ่งการวัด Flow ของมอร์ตาร์ จะใช้ Flow Table ตามมาตรฐาน ASTM C 230 และ ASTM C 1437 ดัง **รูปที่ 3-21**



รูปที่ 3-19 การทดสอบความอยู่ตัว (Soundness) โดยใช้เครื่อง Autoclave ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง



รูปที่ 3-20 การทดสอบความข้นเหลว โดยใช้ Vicat Plunger



รูปที่ 3-21 การทดสอบค่าความข้นเหลวของมอร์ตาร์โดยใช้ Flow Table

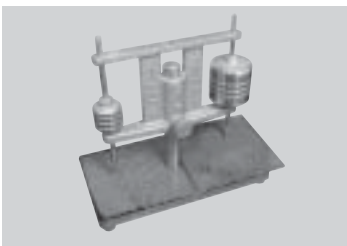
3.10.4 ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time)

จุดประสงค์ของการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัว คือ

1. เพื่อหาระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมจนกระทั่งซีเมนต์เพสต์ไม่มีความสมบัติสีนไหลเข้าแบบหรือมีความสมบัติ Plasticity ได้อีกต่อไป หรือที่เรียกว่า ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น ณ จุดแข็งตัวเริ่มต้น (Initial Set)



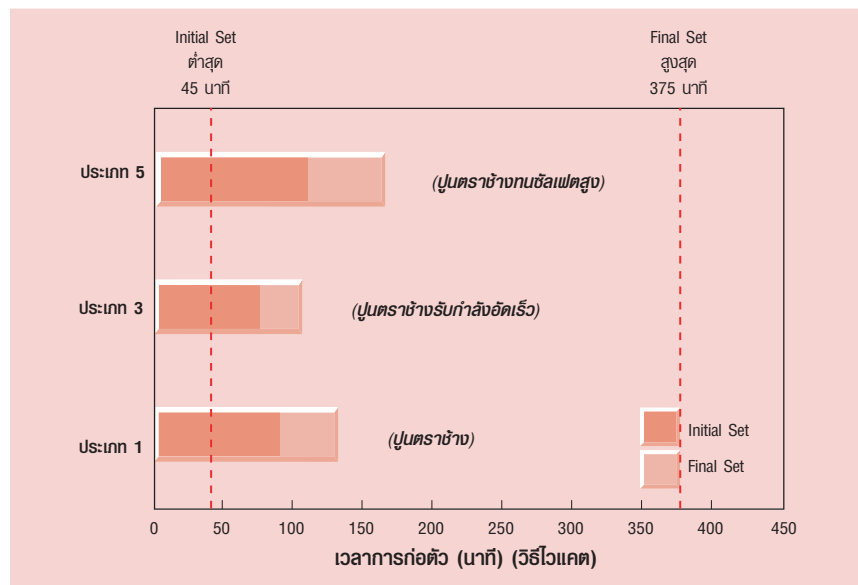
รูปที่ 3-22 การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้ Vicat Needle



รูปที่ 3-23 การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้ Gillmore Needle

2. เพื่อหาระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมจนกระทั่งซีเมนต์เพสต์เปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง หรือที่เรียกว่า เวลาการก่อตัวสุดท้าย ณ จุดแข็งตัวสุดท้าย (Final Set)

การหาระยะเวลาการก่อตัวจะใช้เครื่องมือ Vicat Needle ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 9 หรือ ASTM C 191 หรือเครื่องมือ Gillmore Needle ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 10 หรือ ASTM C 266 อย่างใดอย่างหนึ่ง ดัง **รูปที่ 3-22** และ **รูปที่ 3-23** ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่าง ๆ ในประเทศไทย แสดงดัง **รูปที่ 3-24**



รูปที่ 3-24 ระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่าง ๆ ในประเทศไทย

3.10.5 การก่อตัวผิดปกติ

(Early Stiffening หรือ False Set and Flash Set)

การเกิดการก่อตัวผิดปกติ มีสาเหตุมาจากความไม่สมดุลระหว่างสารประกอบ ซัลเฟตและอลูมิเนียม, อุณหภูมิ, และความละเอียดของปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นตัวควบคุมการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

False Set คือ ลักษณะที่เกิดการสูญเสียความชื้นไหลหรือ Plasticity หลังจากทำการผสมในระยะเวลาอันสั้น การเกิด False Set ของปูนซีเมนต์จะไม่มีผลกระทบต่อคอนกรีต ถ้าหากว่ามีการผสมเป็นเวลานานกว่าปกติ หรือมีการผสมซ้ำ (Remixed) โดยปราศจากการเติมน้ำก่อนที่จะทำการเทลงในแบบ False Set เกิดขึ้นเมื่อยิบซั่มที่เสียน้ำระหว่างการบดปูนซีเมนต์สูญเสีย (Dehydrate) ทำให้อยู่ในรูป Plaster (Calcium Sulphate Hemihydrate) ในปริมาณที่มากเกินไป

ปริมาณของซัลเฟตในรูป Plaster มีผลอย่างมากต่อการเกิดการก่อตัวผิดปกติ กล่าวคือ ถ้ามี Plaster มากเกินไป จะทำให้เกิด False Set แต่หากมี Plaster น้อยเกินไป ก็จะทำให้เกิด Flash Set ได้

Flash Set หรือ Quick Set คือ การสูญเสียความสามารถเทได้ (Workability) อย่างทันทีทันใดของซีเมนต์เฟสท์, มอร์ตาร์, หรือคอนกรีต ทำให้ไม่สามารถกลืนไหลเข้าแบบ หรือมีคุณสมบัติ Plasticity ได้อีก ถึงแม้จะทำการผสมให้นานขึ้นโดยปราศจากการเติมน้ำก็ตาม การเกิด Flash Set โดยปกติจะมีความร้อนเกิดขึ้น เนื่องจากการทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วของอลูมินาในปูนซีเมนต์

การทดสอบ Early Stiffening ในกรณีที่เป็นซีเมนต์เฟสท์ ทำตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 15 หรือ ASTM C 451 และในกรณีที่เป็นมอร์ตาร์ ทำตามมาตรฐาน ASTM C 359

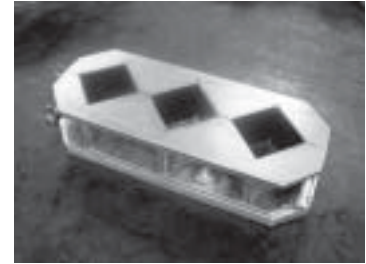
3.10.6 กำลังอัด (Compressive Strength)

การทดสอบหากำลังอัดของมอร์ตาร์ ทำได้โดยการหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5.0 เซนติเมตร โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 12 หรือ ASTM C 109 ดัง รูปที่ 3-25

ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของปูนซีเมนต์ในรูปของมอร์ตาร์ที่สำคัญ ได้แก่ ประเภทของปูนซีเมนต์, องค์ประกอบทางเคมี, และความละเอียดของปูนซีเมนต์

โดยทั่วไป กำลังอัดของปูนซีเมนต์ในรูปมอร์ตาร์จากผลการทดสอบตามวิธีการมาตรฐานดังกล่าว ไม่สามารถนำไปใช้ทำนายกำลังอัดของคอนกรีตได้อย่างแม่นยำนัก ทั้งนี้ เพราะมีปัจจัยอื่น ๆ อีกมากมายที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ได้แก่ คุณสมบัติของมวลรวม, ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้, วิธีการก่อสร้าง, และสภาพแวดล้อมในสถานที่ก่อสร้างจริง

รูปที่ 3-26 และ รูปที่ 3-27 แสดงถึงการพัฒนากำลังอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่าง ๆ



ก) แบบหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 5.0 เซนติเมตร

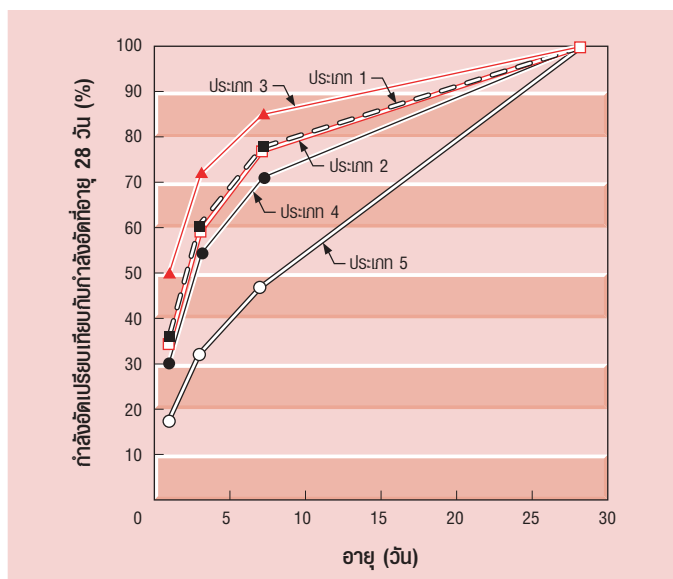


ข) การหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์

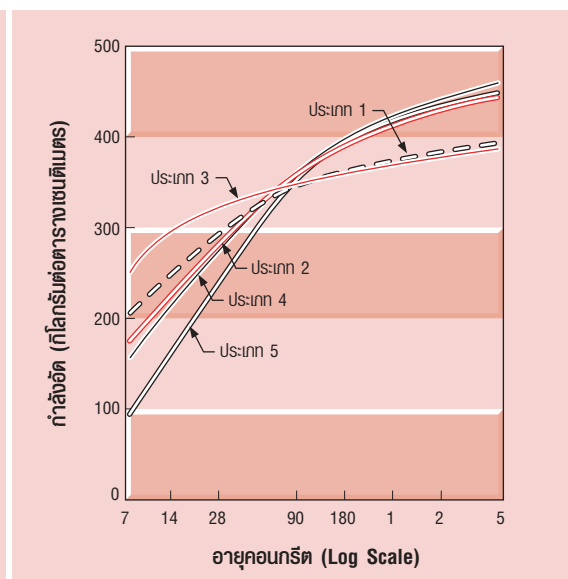


ค) การกดก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์

รูปที่ 3-25 การทดสอบหากำลังอัดของมอร์ตาร์



รูปที่ 3-26 การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่าง ๆ



รูปที่ 3-27 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่าง ๆ



3.10.7 ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Heat of Hydration)

ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดขึ้นต่อเมื่อปูนซีเมนต์และน้ำทำปฏิกิริยากัน ปริมาณความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์เป็นหลัก นั่นคือ C_3A และ C_3S นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของปูนซีเมนต์หรือค่า W/C , ค่าความละเอียด, และอุณหภูมิของการบ่ม เป็นต้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดัง รูปที่ 3-28



รูปที่ 3-28 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน

ถึงแม้ว่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์จะมีการพัฒนาเป็นเวลากว่าหลายปี แต่อัตราการเกิดความร้อนจะมีค่าสูงในช่วงแรกเท่านั้น กล่าวคือ ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงใน 3 วันแรก

การทดสอบหาความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 7 หรือ ASTM C 186 หรือทดสอบโดยใช้ Conduction Calorimetry

มาตรฐานอ้างอิง

- มอก. 15 เล่ม 1-2547 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ
- มอก. 15 เล่ม 2-2521 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 2 การทดสอบความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก
- มอก. 15 เล่ม 3-2519 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 3 วิธีทดสอบความละเอียดของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก โดยใช้แรงขนาด 150 และ 75 ไมโครเมตร
- มอก. 15 เล่ม 4-2519 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 4 วิธีทดสอบความละเอียดของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก โดยใช้แรงขนาด 45 ไมโครเมตร
- มอก. 15 เล่ม 5-2519 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 5 วิธีทดสอบความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยใช้เทอร์บิโดมิเตอร์
- มอก. 15 เล่ม 6-2521 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 6 วิธีทดสอบความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยใช้เครื่องแอร์เพอร์มิอ์บิลิตี
- มอก. 15 เล่ม 7-2521 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 7 การทดสอบความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกกับน้ำ
- มอก. 15 เล่ม 8-2514 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 8 ข้อกำหนดวิธีทดสอบจำนวนน้ำที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ความชื้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก
- มอก. 15 เล่ม 9-2518 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 9 การหาค่าระยะเวลาก่อตัวของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก โดยใช้เข็มแบบไวแคต
- มอก. 15 เล่ม 10-2518 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 10 การหาค่าระยะเวลาก่อตัวของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก โดยใช้เข็มแบบกิลโมร์
- มอก. 15 เล่ม 11-2521 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 11 การทดสอบหาการขยายตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยวิธีออโตแคลฟ
- มอก. 15 เล่ม 12-2532 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 12 วิธีทดสอบความต้านแรงอัดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก
- มอก. 15 เล่ม 13-2521 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 13 วิธีทดสอบหาปริมาณอากาศในมอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก
- มอก. 15 เล่ม 14-2520 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 14 การทดสอบหาการขยายตัวของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เนื่องจากซัลเฟต
- มอก. 15 เล่ม 15-2519 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 15 วิธีทดสอบการก่อตัวผิวดกของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (โดยใช้วิธีเพสต์)
- มอก. 15 เล่ม 16-2535 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 16 การชักตัวอย่างและการยอมรับปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก
- มอก. 15 เล่ม 17-2516 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 17 การผสมมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกด้วยเครื่องผสม



- มอก. 15 เล่ม 18-2519 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 18 การวิเคราะห์ทางเคมีของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก
- มอก. 15 เล่ม 20-2521 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 20 การใช้วัสดุผสมเพิ่มในการทำปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก
- มอก. 15 เล่ม 21-2533 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 21 วิธีหาปริมาณแคลเซียมซัลเฟตอิสระในไฮดรอลิกซีเมนต์
- ASTM C 109-02 : Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens)
- ASTM C 114-04 : Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement
- ASTM C 115-03 : Standard Test Methods for Fineness of Portland Cement by the Turbidimeter
- ASTM C 150-04 : Standard Specification for Portland Cement
- ASTM C 151-00 : Standard Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement
- ASTM C 183-02 : Standard Practice for Sampling and the Amount of Testing of Hydraulic Cement
- ASTM C 186-98 : Standard Test Method for Heat of Hydration of Hydraulic Cement
- ASTM C 187-98 : Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement
- ASTM C 191-04 : Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle
- ASTM C 204-00 : Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air Permeability Apparatus
- ASTM C 230-03 : Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement
- ASTM C 266-03 : Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic-Cement Paste by Gillmore Needles
- ASTM C 359-03 : Standard Test Method for Early Stiffening of Hydraulic Cement (Mortar Method)
- ASTM C 430-03 : Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45- μ m (No. 325) Sieve
- ASTM C 451-04 : Standard Test Method for Early Stiffening of Hydraulic Cement (Paste Method)
- ASTM C 1365-98 : Standard Test Method for Determination of the Proportion of Phases in Portland Cement and Portland-Cement Clinker Using X-Ray Powder Diffraction Analysis
- ASTM C 1437-01 : Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar

เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, “คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 เอกสารวิชาการของ บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, 2547.
- 3 เอกสารวิชาการของคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2545.
- 4 A. M. Neville, “Properties of Concrete”, Fourth Edition, 1999.
- 5 F.L.Smith, “Quality of Cement”, 2000.
- 6 I. Soroka, “Portland Cement Paste and Concrete”, 1979.
- 7 Peter C. Hewlett, “Lea’s Chemistry of Cement and Concrete”, Fourth Edition, 1998.
- 8 Portland Cement Association, “Design and Control of Concrete Mixtures : Portland, Blended, and Other Hydraulic Cements”, Concrete Information, 2002.

ประเภทของปูนซีเมนต์ และการประยุกต์ใช้งาน

บทที่

4



ก) ปูนซีเมนต์สำหรับงานโครงสร้างและงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีต



ข) ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อ งานฉาบ



ค) ปูนซีเมนต์สำหรับงานพิเศษ

รูปที่ 4-1 ประเภทของปูนซีเมนต์

บทคัดย่อ

นอกจากคุณภาพของปูนซีเมนต์ที่ดีและได้มาตรฐานแล้ว การเลือกประเภทของปูนซีเมนต์ให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานนั้นถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญเช่นกัน เพราะจะช่วยประหยัดทั้งค่าใช้จ่าย ระยะเวลา และการป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นตามมาเนื่องจากการใช้งานปูนซีเมนต์ไม่ถูกประเภทได้

ในบทนี้ ได้จำแนกประเภทของปูนซีเมนต์ตามลักษณะการใช้งาน ออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่

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

โดยการอ้างอิงจากมาตรฐานต่าง ๆ ทั้งของไทย, สหรัฐอเมริกา, และกลุ่มประเทศในสหภาพยุโรป เพื่อให้สามารถเลือกใช้ประเภทของปูนซีเมนต์ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน และก่อให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด



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



รูปที่ 4-3 ลักษณะของปูนซีเมนต์



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



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

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

4.2 คำนิยาม

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

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) หมายถึง ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ได้จากการบดปูนเม็ด (Clinker) ที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ ไฮดรอลิกซิลิเกต (Hydraulic Calcium Silicate) กับสารหน่วงการก่อตัว เช่น ยิปซัม (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 แต่เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (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

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

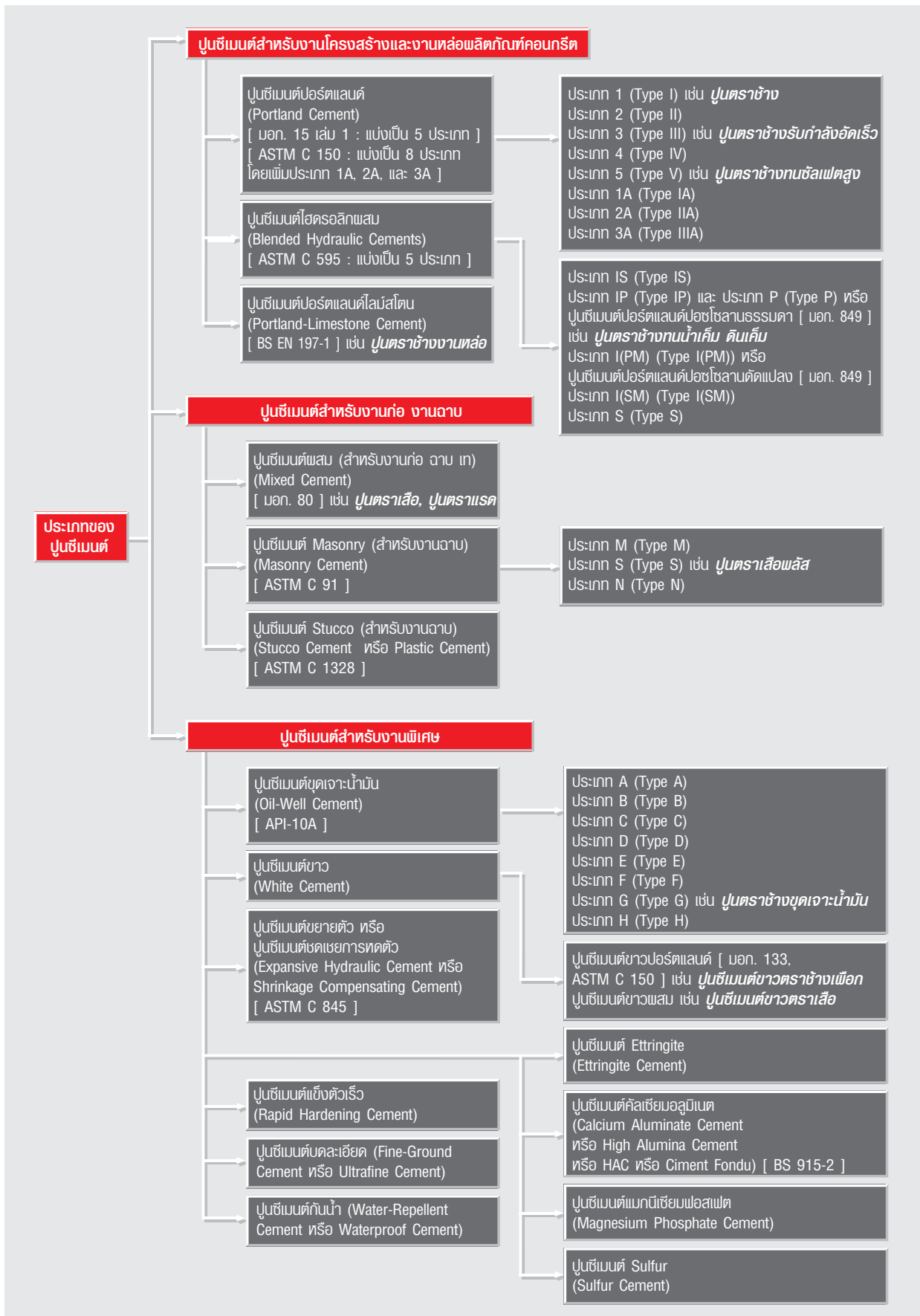
4.4 ปูนซีเมนต์สำหรับงานโครงสร้างและงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีต

4.4.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)

มาตรฐานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของไทย คือ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือ มอก. 15 เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ ได้แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภทด้วยกัน ได้แก่

1. ประเภท 1 : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา
2. ประเภท 2 : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง
3. ประเภท 3 : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดสูงเร็ว
4. ประเภท 4 : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ
5. ประเภท 5 : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตสูง

มาตรฐานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของสหรัฐอเมริกา คือ ASTM C 150 ได้แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 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
1. ประเภท 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Type I) เช่น ปูนตราช้าง	• เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่นิยมใช้มากที่สุดในประเทศไทย • เป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้าง ทำคอนกรีต หรือทำผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ • เหมาะสำหรับงานคอนกรีตโดยทั่วไป เช่น อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก, พื้นอาคาร, ถนน, สะพาน, กำแพงกั้นน้ำ, อ่างเก็บน้ำ, ท่อน้ำ, และผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น • นอกจากนี้ ยังเหมาะสำหรับโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น สะพานขนาดใหญ่, สนามกีฬา, และอาคารสูง เป็นต้น



รูปที่ 4-7 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เช่น ปูนตราช้าง



ก) อาคารโดยทั่วไป



ข) ถนน



ค) สะพาน



ง) สนามกีฬา



จ) อาคารสูง

รูปที่ 4-8 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตโดยทั่วไป และงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง

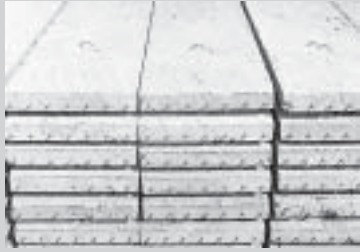


รูปที่ 4-9 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง เหมาะสำหรับงานโครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับดินหรือน้ำที่มีซัลเฟตปานกลาง หรือโครงสร้างที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ฐานรากขนาดใหญ่



รูปที่ 4-10 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดสูงเร็ว เช่น ปูนตราช้างรับกำลังอัดเร็ว

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์		คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งาน
2. ประเภท 2 (Type II)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement)ทนซัลเฟตได้ปานกลางหรือเกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮดรเจนปานกลาง (Moderate Sulfate Resistance or Moderate Heat of Hydration)	- เป็นปูนซีเมนต์ที่เกิดความร้อนน้อยกว่าประเภท 1 และทนซัลเฟตปานกลางได้ - เหมาะสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องสัมผัสกับดินหรือน้ำที่มีความเข้มข้นของซัลเฟตสูงกว่าปกติ แต่ไม่ถึงระดับรุนแรง - มีคุณสมบัติทนทานต่อซัลเฟตได้ เพราะมีปริมาณไตรแคลเซียมอัลูมิเนต (C_3A) ในปูนซีเมนต์ ไม่เกิน 8% - ซัลเฟตในดินหรือน้ำอาจเข้าไปในเนื้อคอนกรีตและทำปฏิกิริยากับไตรแคลเซียมอัลูมิเนต (C_3A) ก่อให้เกิดการขยายตัว เกิดสะเก็ด (Scaling) และแตกร้าวในที่สุด นอกจากนี้ เกลือซัลเฟต เช่น แมกนีเซียมซัลเฟต ยังทำให้คอนกรีตมีกำลังลดลงด้วย เพราะสามารถทำลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไฮดรอกไซด์ (CSH) ได้ - ถ้ามีปริมาณเกลือซัลเฟตสูงๆ เช่น งานก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย หรือโครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับน้ำเสียโดยตรง เป็นต้น ควรใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5 มากกว่า เพราะมี (C_3A) ต่ำกว่า - ต้องใช้ร่วมกับส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่ำๆ เพื่อทำให้เนื้อคอนกรีตกับขึ้น (ลดการซึมผ่าน) และสามารถลดความเสียหายที่เกิดจากซัลเฟตได้ - นอกจากนี้ ยังใช้ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ในงานโครงสร้างที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ตอม่อขนาดใหญ่, ฐานรากขนาดใหญ่, และกำแพงกันดินที่หนาแน่นๆ เป็นต้น เพราะเป็นปูนซีเมนต์ที่เกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮดรเจนในระดับปานกลาง และอัตราการเกิดความร้อนจะช้ากว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 จึงสามารถลดโอกาสเกิดการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน (Thermal Cracking) ได้
3. ประเภท 3 (Type III)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดสูงเร็ว (High Early Strength Portland Cement) เช่น ปูนตราช้างรับกำลังอัดเร็ว	- ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังอัดสูงในระยะแรก เพราะปูนซีเมนต์มีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 - เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการใช้งานเร็ว หรือถอดแบบในเวลาอันสั้น มักใช้ในงานหล่อผลิตแท่งคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปชนิดต่างๆ เช่น แผ่นพื้นอัดแรง, เสาเข็มอัดแรง, เสาไฟฟ้า, เสาและคานสำเร็จรูปสำหรับงานอาคาร, คานสะพานสำเร็จรูป, และท่อนรางรถไฟ เป็นต้น - ไม่ควรใช้ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ในงานโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่ เพราะความร้อนจากปฏิกิริยาไฮดรเจนจะเกิดสูงมากในช่วงต้น อาจทำให้โครงสร้างนั้นเกิดการแตกร้าวได้



ก) แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป



ข) เสาค้ำคอนกรีตอัดแรง



ค) เสาค้ำไฟฟ้า



ง) คานคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป



จ) คานสะพานคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป



ฉ) ท่อนรางรถไฟคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป

รูปที่ 4-11 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทให้กำลังอัดสูงเร็ว เหมาะสำหรับงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งาน
4. ประเภท 4 (Type IV) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement) เกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮดรชันต่ำ	• เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ปริมาณและอัตราความร้อนจากปฏิกิริยาไฮดรชันต่ำ โดยเกิดความร้อนน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 2 และมีการพัฒนากำลังต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆ • เหมาะสำหรับงานคอนกรีตมวล (Mass Concrete) เช่น เขื่อน เป็นต้น เนื่องจากทำให้อุณหภูมิของคอนกรีตขณะก่อตัวต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นๆ ซึ่งเป็นการลดปัญหาความเสี่ยงจากการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน (Thermal Cracking) • ในประเทศไทยไม่มีการผลิตปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ปัจจุบันมีการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ผสมกับสารปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นต้น ซึ่งสามารถช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นได้



รูปที่ 4-12 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทเกิดความร้อนต่ำ เหมาะสำหรับงานคอนกรีตมวล เช่น เขื่อน เป็นต้น



รูปที่ 4-13 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตสูง เช่น ปูนตราช้างทนซัลเฟตสูง



รูปที่ 4-14 ผิวคอนกรีตเสียหายเนื่องจากการกระทำของซัลเฟต



ก) บ่อบำบัดน้ำเสีย



ข) โครงสร้างสะพานที่สัมผัสน้ำที่มีซัลเฟตสูง



ค) โครงสร้างไต้ดินที่สัมผัสดินที่มีซัลเฟตสูง 7

รูปที่ 4-15 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตสูง เหมาะสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องสัมผัสดินหรือน้ำที่มีซัลเฟตสูง

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์		คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งาน
5. ประเภท 5 (Type V)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตสูง (Sulphate Resistance Portland Cement) เช่น ปูนตราช้างทนซัลเฟตสูง	- ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ มีค่า (C_3A) ไม่เกิน 5% เพื่อป้องกันไม่ให้ซัลเฟตจากภายนอกเข้ามาทำลายเนื้อคอนกรีต และให้กำลังต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 - เหมาะสำหรับงานโครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับเกลือซัลเฟตอย่างรุนแรง จากดินหรือน้ำที่มีปริมาณซัลเฟตสูง เช่น งานก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย, โครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับน้ำเสียโดยตรง, และโครงสร้างไต้ดิน เป็นต้น - ต้องใช้ร่วมกับส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่ำๆ เพื่อทำให้เนื้อคอนกรีตแข็งขึ้น และสามารถลดความเสียหายที่เกิดจากซัลเฟตได้ - ไม่สามารถต้านทานต่อการกัดและสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรงได้ เช่นเดียวกับกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทอื่นๆ
6. ประเภท 1A (Type IA)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทกระจายฟองอากาศ (Air-Entraining Portland Cement)	- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทกระจายฟองอากาศ ประเภท 1A, ประเภท 2A, และประเภท 3A มีองค์ประกอบต่างๆ คล้ายกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1, ประเภท 2, และประเภท 3 ตามลำดับ ยกเว้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ จะมีการเติมสารกระจายฟองอากาศในปริมาณเล็กน้อยในระหว่างการบดปูนเม็ดในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ - ช่วยให้คอนกรีตมีความทนทานต่อการแข็งตัวและการละลายของน้ำ (Freezing and Thawing) ได้ เนื่องจากในเนื้อคอนกรีตมีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ทั่วไป จึงช่วยป้องกันการแตกร้าวอันมีสาเหตุมาจากปริมาตรที่เพิ่มขึ้นของน้ำที่กลายเป็นน้ำแข็ง ทำให้เกิดแรงดันภายในเนื้อคอนกรีต จนเกิดการแตกร้าวขึ้นในที่สุด - เหมาะสำหรับงานโครงสร้างในสภาพภูมิอากาศหนาวเย็น แต่อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่ มักนิยมใช้คอนกรีตผสมสารกระจายฟองอากาศ เพื่อเพิ่มปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตมากกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ประเภทกระจายฟองอากาศนี้

คุณสมบัติทางเคมี	ประเภท				
	1	2	3	4	5
1. ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2), ต่ำสุด, %	---	20.0	---	---	---
2. อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3), สูงสุด, %	---	6.0	---	---	---
3. โอรอน (III) ออกไซด์ (Fe_2O_3), สูงสุด, %	---	6.0	---	6.5	---
4. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO), สูงสุด, %	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
5. ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3), สูงสุด, %					
5.1 เมื่อมีไตรแคลเซียมอลูมิเนต $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, $\leq 8\%$	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
5.2 เมื่อมีไตรแคลเซียมอลูมิเนต $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, $> 8\%$	3.5	---	4.5	---	---
6. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition), สูงสุด, %	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
7. กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (Insoluble Residue), สูงสุด, %	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
8. ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), สูงสุด, %	---	---	---	35	---
9. ไดแคลเซียมซิลิเกต ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), สูงสุด, %	---	---	---	40	---
10. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$), สูงสุด, %	---	8	15	7	5
11. เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์บวกสองเท่า ไตรแคลเซียมอลูมิเนต [$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2(3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3)$] หรือสารละลายของแข็งของเตตระแคลเซียมอลูมิโน เฟอร์ไรต์บวกไดแคลเซียมเฟอร์ไรต์ [$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$] แล้วแต่กรณี, สูงสุด, %	---	---	---	---	25



รูปที่ 4-16 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 4-16 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่กระจายกักฟองอากาศ เหมาะสำหรับงานโครงสร้างในสภาพภูมิอากาศหนาวเย็น เช่น สะพานข้ามทะเลที่มีแผ่นน้ำแข็งไหลผ่าน 8

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

คุณสมบัติทางเคมี (ที่อาจเพิ่มเติมได้)	ประเภท				
	1	2	3	4	5
1. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$), สูงสุด, % (สำหรับปูนซีเมนต์ที่กั้นซิลิเกตปานกลางได้)	---	---	8	---	---
2. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$), สูงสุด, % (สำหรับปูนซีเมนต์ที่กั้นซิลิเกตสูงได้)	---	---	5	---	---
3. ไตรแคลเซียมซิลิเกตบวกไตรแคลเซียมอลูมิเนต ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 + 3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$), สูงสุด, % (สำหรับปูนซีเมนต์ที่เกิดความร้อนปานกลางจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ)	---	58	---	---	---
4. ด่าง ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$), สูงสุด, % (สำหรับปูนซีเมนต์ที่มีด่างต่ำ)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

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



ตารางที่ 4-3 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐาน 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) (ไทลีสกอร์ทดสอบได้), ต่ำสุด, ตารางเซนติเมตรต่อกรัม					
2.1 ทดสอบด้วยวากูเมอร์เทอร์บิไดมิเตอร์ (Wagner Turbidimeter)	1,600	1,600	---	1,600	1,600
2.2 ทดสอบด้วยเบลนแอร์เพอร์มิเอบิลิตี (Blaine Air Permeability)	2,800	2,800	---	2,800	2,800
3. ความอยู่ตัว (Soundness), การขยายตัวโดยวิธีออโตแคลฟ (Autoclave Expansion), สูงสุด, %	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
4. แรงอัด (Compressive Strength) ของก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์ (Mortar Cube) ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 1 ส่วน และทรายมาตรฐานที่ร่อนได้ตามขนาด (Graded Standard Sand) 2.75 ส่วน โดยน้ำหนักเตรียมและทดสอบตามมาตรฐาน 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) (ไทลีสกอร์ทดสอบได้)					
5.1 ทดสอบแบบกิลล์มอร์ (Gillmore Test)					
• การก่อตัวระยะต้น (Initial Set), ต่ำสุด, นาที	60	60	60	60	60
• การก่อตัวระยะปลาย (Final Set), สูงสุด, ชั่วโมง	10	10	10	10	10
5.2 ทดสอบแบบไวแคต (Vicat Test)					
• การก่อตัวระยะต้น (Initial Set), ต่ำสุด, นาที	45	45	45	45	45
• การก่อตัวระยะปลาย (Final Set), สูงสุด, นาที	375	375	375	375	375

ตารางที่ 4-4 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่อาจเพิ่มเติมได้ ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ (ที่อาจเพิ่มเติมได้)	ประเภท				
	1	2	3	4	5
1. การก่อตัวผิดพลาด (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

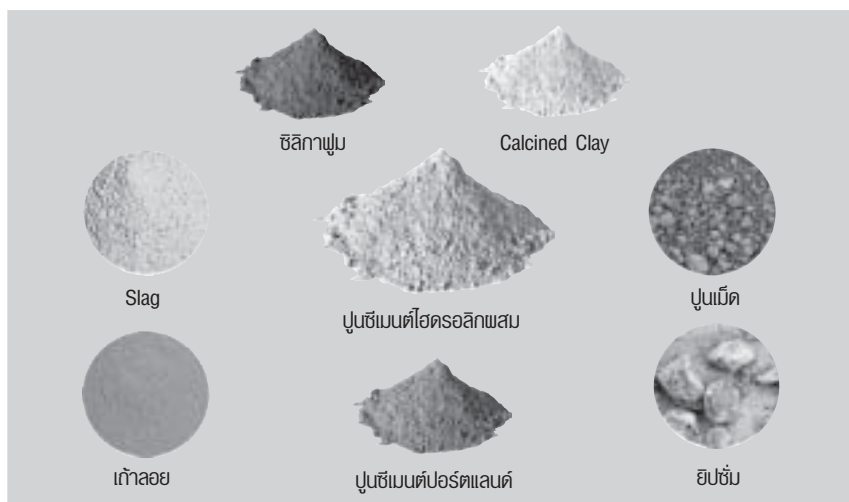
4.4.2 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม (Blended Hydraulic Cements)

ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม มีจุดเริ่มต้นของการพัฒนา คือ เพื่อลดพลังงานการผลิตปูนซีเมนต์สำหรับการรองรับการขยายกำลังการผลิตในหลายประเทศทั้งยุโรปและเอเชีย เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้คุณสมบัติที่ดีกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงและความคงทนเพิ่มขึ้น จึงเป็นปูนซีเมนต์ประเภทที่ใช้งานในลักษณะเดียวกันกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยสามารถใช้วัสดุเชื่อมประสานเพียงชนิดเดียว หรือใช้ร่วมกับวัสดุเชื่อมประสานหลายชนิด ในคอนกรีตได้อีกด้วย โดยส่วนใหญ่แล้วนิยมใช้ร่วมกับ สารปอซโซลาน (Pozzolan) และ Slag (หรือ GGBS) อาจใช้ในรูปแบบของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม หรือใช้ในรูปแบบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมร่วมกับสารปอซโซลาน หรือ Slag ในการผสมคอนกรีต

ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม สามารถผลิตโดยการบดปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับวัสดุเชื่อมประสาน หรือการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับวัสดุเชื่อมประสานที่บดละเอียด หรือทั้งการบดและการผสม โดยมีปริมาณของวัสดุเชื่อมประสานอยู่ในช่วงจำกัดตามที่กำหนดไว้ วัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement), Ground Granulated Blast-furnace Slag หรือ GGBS, เถ้าลอย (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 สามารถผลิตโดยการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หรือปูนเม็ดและยิปซั่ม มาผสมหรือบดรวมกับสารปอซโซลาน 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	- เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสม GGBS 25 - 70% โดยน้ำหนัก - คุณสมบัติของคอนกรีตที่ได้ ในสภาพที่เป็นคอนกรีตสด จะเพิ่มความสามารถในการเข้าแบบได้ง่าย, และลดการเยิ้ม น้ำ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จะเพิ่มกำลังอัดที่ระยะปลาย, เพิ่มความทนน้ำ, ความทนทานต่อซัลเฟต, และโอกาสเกิดปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction หรือ AAR) ชนิดที่เรียกว่าปฏิกิริยาอัลคาไลซิลิกา (Alkali-Silica Reaction หรือ ASR) - เหมาะสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตโดยทั่วไป เช่น ถนน, สะพาน, งานเกราะ, และถังกักเก็บน้ำ และงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป เช่น คอนกรีตบล็อก, และท่อระบายน้ำ
2. ประเภท IP (Type IP) และ ประเภท P (Type P)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland-Pozzolan Cement) เช่น ปูนตราช้างทนน้ำเค็ม ดินเค็ม	- เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมสารปอซโซลาน (Pozzolan) 15 - 40% โดยน้ำหนัก - คุณสมบัติของคอนกรีตที่ได้จะเพิ่มความสามารถในการเข้าแบบได้ง่าย, ลดการเยิ้ม น้ำ, และลดการแยกตัว เพิ่มกำลังอัดที่ระยะปลาย, เพิ่มความทนน้ำ, เพิ่มความทนทานต่อซัลเฟต, ลดการหดตัว, และลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน - เหมาะสำหรับงานโครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับคลอไรด์และซัลเฟต ในบริเวณชายฝั่งทะเล, บริเวณน้ำกร่อย, บริเวณพื้นที่ดินเค็ม, และงานโครงสร้างใต้ดินต่างๆ - ประเภท P เหมาะกับงานที่ไม่ต้องการรับกำลังอัดระยะต้นเร็ว



ก) งานคอนกรีตในน้ำทะเล



ข) งานคอนกรีตในน้ำกร่อย



ค) ลักษณะพื้นที่ดินเค็มในภาคอีสาน

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

ประเภทของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม		คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งาน
3. ประเภท I(PM) (Type I(PM))	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปอซโซลานดัดแปลง (Pozzolan-Modified Portland Cement)	• เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมสารปอซโซลาน (Pozzolan) น้อยกว่า 15% โดยน้ำหนัก • เหมาะสำหรับงานโครงสร้างโดยทั่วไป แต่ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะสูงกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน ประเภท IP เนื่องจากผสมสารปอซโซลานในสัดส่วนที่น้อยกว่า หรือมีส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มากกว่า จึงเกิดความร้อนมากกว่า
4. ประเภท I(SM) (Type I(SM))	Slag-Modified Portland Cement	• เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสม GGBS น้อยกว่า 25% โดยน้ำหนัก • เหมาะสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตโดยทั่วไป เช่นเดียวกับประเภท IS
5. ประเภท S (Type S)	Slag Cement	• เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสม GGBS มากกว่า 70% โดยน้ำหนัก • ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อใช้ในงานคอนกรีต และยังสามารถใช้ผสมกับปูนขาว (Hydrated Lime) เพื่อใช้ในงานก่ออิฐฉาบผิวอีกด้วย



รูปที่ 4-21 Slag Cement สามารถนำมาใช้ในงานก่ออิฐฉาบผิวได้

คุณสมบัติทางเคมี	ประเภท		
	IS, I(SM)	S	IP, P, I(PM)
1. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO), สูงสุด, %	---	---	6.0
2. ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ SO ₃ , สูงสุด, %	3.0	4.0	4.0
3. ซัลไฟต์ (S), สูงสุด, %	2.0	2.0	---
4. กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (Insoluble Residue), สูงสุด, %	1.0	1.0	---
5. น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผา (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 ^(2)	---	0.10 ^(2)

ตารางที่ 4-6 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม ตามมาตรฐาน ASTM C 595

(1) การทดสอบความละเอียดนี้ จะทดสอบและรายงานในกรณีที่ผู้ซื้อร้องขอ

(2) เกณฑ์เพิ่มเติมของความทนทานต่อซัลเฟต ในกรณีที่ผู้ซื้อร้องขอ

4.4.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไลม์สโตน (Portland-Limestone Cement)

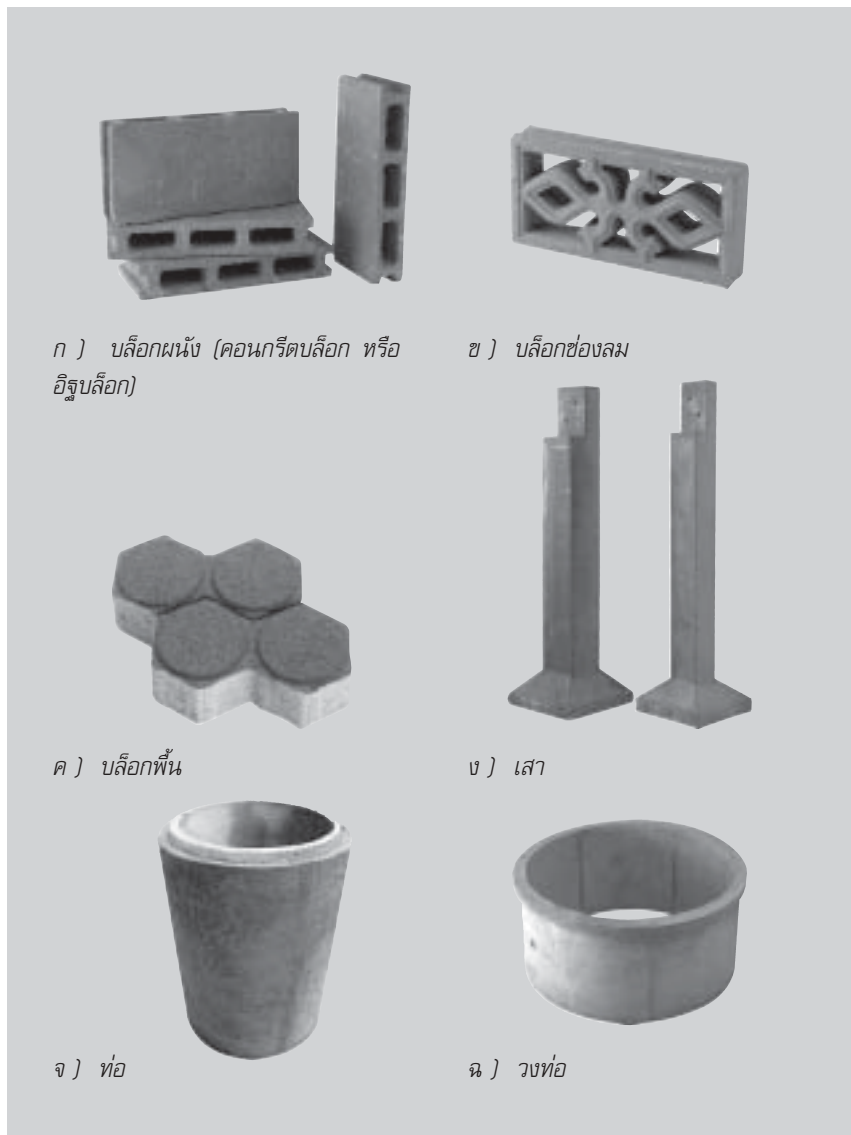
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไลม์สโตน เป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพพิเศษ ตามมาตรฐานยุโรป BS EN 197-1 เช่น *ปูนตราช้างงานหล่อ*

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ได้จากการเติมหินปูนในปริมาณที่เหมาะสมในระหว่างการผลิตปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

เหมาะสำหรับงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป ชนิดไม่อัดแรง อาทิ บล็อกผนัง, บล็อกช่องลม, บล็อกพื้น, เสา, ท่อ, และวงบ่อ เป็นต้น ทั้งนี้เพราะมีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถถอดแบบได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีคุณสมบัติช่วยให้คอนกรีตแห้งตัวได้เร็วขึ้น และขึ้นงานเรียบเนียนสวย เนื่องจากมีเนื้อปูนที่ละเอียด รวมทั้งมีความแข็งแรง ทนทาน ไม่เปราะ และลดการแตกหักเสียหายจากการถอดแบบ



รูปที่ 4-22 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไลม์สโตน เช่น *ปูนตราช้างงานหล่อ*



รูปที่ 4-23 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไลม์สโตน เหมาะสำหรับงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป ชนิดไม่อัดแรง



4.5 ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อ งานฉาบ

4.5.1 ปูนซีเมนต์ผสม (Mixed Cement) สำหรับงานก่อ ฉาบ เท



รูปที่ 4-24 ปูนซีเมนต์ผสม เช่น ปูนตราเสือ, และปูนตราแรด



ก) งานก่ออิฐ



ข) งานฉาบปูน



ค) งานเทคอนกรีตโครงสร้างขนาดเล็ก



ง) งานปูนปั้น เช่น โองซี่เมนต์

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

มีคุณสมบัติเหนียวลื่น ยึดเกาะอิฐและผนังได้ดี แท้งตัวพอเหมาะ ไม่ยัดหรือหดตัวมาก ช่วยลดการแตกร้าวที่ผิวผนังได้ และให้กำลังต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

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

คุณสมบัติทางฟิสิกส์	เกณฑ์ที่กำหนด
1. ความละเอียด (Fineness), พื้นผิวจำเพาะ (Specific Surface), ทดสอบด้วยวิธีแอร์เพอร์มิเอเบิลแบบของเบลู (Air Permeability Test, Blaine), ต่ำสุด, ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	2,800
2. ความอยู่ตัว (Soundness), การขยายตัวโดยวิธีโอโตแคลฟ (Autoclave Expansion), สูงสุด, %	0.6
3. ระยะเวลาการก่อตัว (Time of Setting), ทดสอบแบบไวเคต (Vicat Test) • การก่อตัวระยะต้น (Initial Set), ต่ำสุด, นาที	45
4. ปริมาณอากาศในมอร์ตาร์ (Air Content of Mortar), สูงสุด, เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	12
5. แรงอัด (Compressive Strength) ของก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์ (Mortar Cube), ต่ำสุด, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร • อายุ 3 วัน • อายุ 7 วัน	65 115
6. การก่อตัวผิดปกติ (False set), ระยะจบสุดท้าย (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 หรือ ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกผสม 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

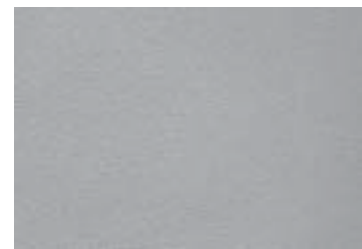
3. **ใช้งานได้นาน** : มีสารอุ้มน้ำพิเศษ เนื้อปูนฉาบจึงอุ้มน้ำได้นานขึ้น และคงสภาพอยู่ได้นานกว่า ทำให้ไม่ต้องผสมซ้ำ มีเวลาปรับแต่งผิวหน้าผนังฉาบปูนได้นานขึ้น นอกจากนี้คุณสมบัติของเนื้อปูนฉาบที่อุ้มน้ำได้นี้ยังช่วยลดการสูญเสียน้ำจากการดูดซึมของผนังก่ออิฐ และการระเหยของน้ำจากสภาพอากาศทำให้เนื้อปูนสามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น 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



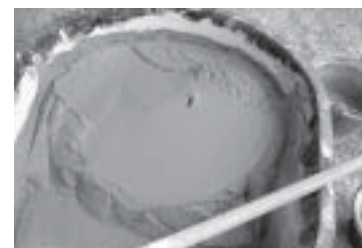
รูปที่ 4-26 ปูนซีเมนต์ Masonry ประเภท S เช่น ปูนตราเสือพลัส



ก) **ผนังเรียบเนียน** : ได้ผิวผนังฉาบปูนที่เรียบเนียน เพราะเนื้อปูนมีความละเอียดสูง จึงสามารถยึดเกาะกับผนังก่ออิฐได้ดี

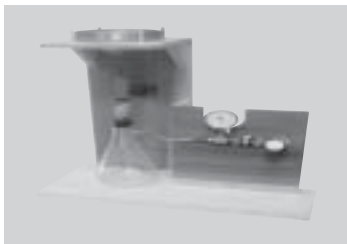


ข) **เหนียวลื่น ฉาบง่าย** : เนื้อปูนฉาบเหนียวลื่น ยึดเกาะดี ไม่ร่วงหล่น จึงช่วยให้ฉาบง่าย ทั้งนี้เพราะมี Micro Air Bubble หรือฟองอากาศขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วส่วนผสม



ค) **ใช้งานได้นาน** : เนื้อปูนฉาบมีคุณสมบัติอุ้มน้ำได้นานขึ้น จึงคงตัวอยู่ได้นาน ไม่ต้องผสมซ้ำ มีเวลาปรับแต่งผิวหน้าผนังฉาบปูนได้นานขึ้น และยังช่วยลดการแตกร้าวได้อีกด้วย

รูปที่ 4-27 คุณสมบัติพิเศษของปูนซีเมนต์ Masonry ที่เหมาะสำหรับงานฉาบปูนโดยเฉพาะ



รูปที่ 4-28 เครื่องมือทดสอบหาค่าการอุ้มน้ำ

คุณสมบัติทางฟิสิกส์	ประเภท		
	N	S	M
1. ความละเอียด (Fineness), ส่วนที่ค้างบนตะแกรง 45 ไมครอน (เบอร์ 325), สูงสุด, %	24	24	24
2. ความอยู่ตัว (Soundness), การขยายตัวโดยวิธีออโตเคลฟ (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, เปอร์เซ็นต์ของค่าการไหลแห้งเบื้องต้น	70	70	70

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 แล้วบ่มลงไปใต้ดิน บางทีต้องบ่มลงไปถึงความลึก 6,000 เมตร หรือมากกว่า และอุณหภูมิสูงถึง 170 °C ซีเมนต์เพสต์นี้ยังต้องเหลวพอที่จะทำงานได้จนถึงประมาณ 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 ₃ S อยู่ในช่วง 48 - 58 %) และสูง (ค่า C ₃ 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 ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีองค์ประกอบของ C ₂ S และซิลิกาเป็นหลัก



รูปที่ 4-29 ปูนซีเมนต์ขุดเจาะน้ำมันประเภท G เช่น ปูนตราช้างขุดเจาะน้ำมัน



รูปที่ 4-30 งานขุดเจาะน้ำมัน



4.6.2 ปูนซีเมนต์ขาว (White Cement)

ปูนซีเมนต์ขาว เป็นปูนซีเมนต์ที่มีสีขาว สามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับปูนซีเมนต์โดยทั่วไปซึ่งมีสีเทา โดยลักษณะสีขาวนี้ เนื่องมาจากการคัดเลือกวัตถุดิบและการควบคุมกระบวนการผลิต ปูนซีเมนต์ขาวผลิตจากวัตถุดิบที่มีเหล็กออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ปริมาณน้อยมาก ๆ เนื่องจากสารประกอบออกไซด์ทั้งสองถ้ามีปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา ดังนั้นถ้าต้องการให้ปูนซีเมนต์มีสีขาวจึงต้องควบคุมให้มี C_4AF ต่ำ ๆ

โดยทั่วไป ปูนซีเมนต์ขาวจะให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เนื่องจากมี C_3A และ C_3S สูงกว่า และมีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 3.05 - 3.10 ซึ่งต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยทั่วไป ที่มีค่า 3.15 อยู่เล็กน้อย

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

● ปูนซีเมนต์ขาวปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ขาวปอร์ตแลนด์ เป็นปูนซีเมนต์ตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ขาว หรือ มอก. 133 และมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ASTM C 150

ตัวอย่างปูนซีเมนต์ประเภทนี้ เช่น **ปูนซีเมนต์ขาวตราช้างเผือก** (ปูนซีเมนต์ขาวปอร์ตแลนด์ประเภท 1)



รูปที่ 4-31 ปูนซีเมนต์ขาวปอร์ตแลนด์
เช่น ปูนซีเมนต์ขาวตราช้างเผือก

คุณสมบัติที่สำคัญ คือ เนื้อปูนซีเมนต์แน่น ละเอียด มีสีขาวบริสุทธิ์, ระยะเวลาแห้งตัวเหมาะสม, กำลังการยัดเกะสูง, และมีความแข็งแรง

ปูนซีเมนต์ขาวปอร์ตแลนด์ เป็นปูนซีเมนต์ที่มีความแข็งแรง และด้วยสีขาวบริสุทธิ์ของเนื้อปูนที่ผสมสีต่าง ๆ ได้หลากหลาย จึงสามารถนำไปใช้ในงานตกแต่ง ทั้งพื้น ผนัง บ้านและอาคารต่าง ๆ รวมทั้งสามารถสร้างสรรค์วัสดุ หรือชิ้นงานเพื่อประดับและตกแต่งได้เป็นอย่างดี ได้แก่ เทอร์ราซโซ หรืองานหินขัด, งานหินล้าง/กรวดล้าง/ทรายล้าง, และงานตกแต่งทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่ต้องการความสวยงามและความทนทาน เช่น ฝ้าที่สาธารณะ, ห้องน้ำ, สระว่ายน้ำ เป็นต้น อีกทั้งยังเป็นส่วนผสมหลักในการผลิตวัสดุใช้สำหรับยาแนว, ปูกระเบื้องเซรามิค หินอ่อน หินแกรนิต, ผลิตแผ่นหินขัดสำเร็จรูป โตะ แก้วีสนาม, และรวมไปถึงงานหล่อคอนกรีตขาวด้วย

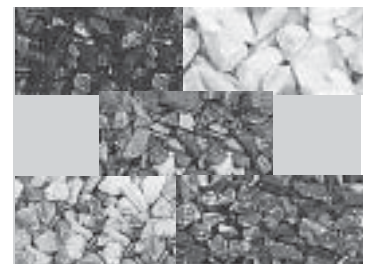
ลักษณะการใช้งานปูนซีเมนต์ขาวปอร์ตแลนด์ อาจแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

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

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



รูปที่ 4-32 วัสดุผสมสำหรับงานเทอร์ราซโซมวละเอียด เช่น วัสดุผสมปูนซีเมนต์ขาวตราเนเจอร์ไวท์



ก) หินเกล็ด



ข) งานเทอร์ราซโซ



ค) งานแนชเชอร์ล 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)** สีสนทนทาน ด้วยเนื้อของสีฝุ่น ทำให้ได้ผนังฉาบสีที่สวยงาม ทนทาน หมดปัญหาเรื่องสีหลุดล่อน หรือสีซีดจาง
- 1.3 **งานฉาบสีขัดมัน (Polished Color Plaster)** ให้ผิวที่เรียบลื่น และสีที่ใสแวววาว 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 ₃), สูงสุด, %	
2.1 เมื่อมีไตรแคลเซียมอลูมิเนต 3CaO•Al ₂ O ₃ , < 8%	3.5
2.2 เมื่อมีไตรแคลเซียมอลูมิเนต 3CaO•Al ₂ O ₃ , > 8%	4.5
3. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition), สูงสุด, %	3.0
4. กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (Insoluble Residue), สูงสุด, %	0.75

ตารางที่ 4-9 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางเคมี ของปูนซีเมนต์ขาว ตามมาตรฐาน มอก. 133

คุณสมบัติทางฟิสิกส์	เกณฑ์ที่กำหนด
1. ความละเอียด (Fineness), พื้นผิวจำเพาะ (Specific Surface) (ให้เลือกริธีทดสอบได้)	
1.1 ทดสอบด้วยเทอร์บิดิเมเตอร์ (Turbidimeter Test, Wagner), ค่าต่ำสุดสำหรับตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่ง, ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	1,600
1.2 ทดสอบด้วยแอร์เพอร์มิบิลิตี (Air Permeability Test, Blaine), ค่าต่ำสุดสำหรับตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่ง, ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	2,800
2. ความอยู่ตัว (Soundness), การขยายตัวโดยวิธีออโตแคลฟ (Autoclave Expansion), สูงสุด, %	0.80
3. ระยะเวลาการก่อตัว (Time of Setting) (ให้เลือกริธีทดสอบได้)	
3.1 ทดสอบแบบกิลโมร์ (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. การก่อตัวผิดปกติ (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 เหมาะ
สำหรับงานเทพื้นคอนกรีตบริเวณกว้าง

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

4.6.4 ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็ว (Rapid Hardening Cement)



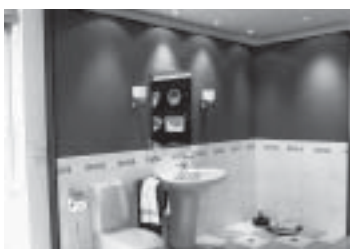
รูปที่ 4-37 ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็ว
เหมาะสำหรับงานซ่อมแซมถนน

ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็ว เป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่สามารถรับแรงช่วงต้น ๆ และแข็งตัวได้ภายในเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการพัฒนาค่ากำลังในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่น งานซ่อมทางเท้า หรือถนน โดยปูนซีเมนต์ประเภทนี้ส่วนใหญ่จะใช้ซิลิเนียมซัลโฟลูมิเนต (Calcium Sulfoaluminate) ในการผลิต เนื่องจากเป็นส่วนที่ให้อำนาจในช่วงต้น ๆ

4.6.5 ปูนซีเมนต์บดละเอียด (Finely-Ground Cement หรือ Ultrafine Cement)

ปูนซีเมนต์บดละเอียด เป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (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 เหมาะ
สำหรับงานปูและยาแนวกระเบื้อง

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

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

ปูนซีเมนต์แคลเซียมอลูมิเนต 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 °C เช่น ผนังห้องเตาอบ, ทำอิฐทนไฟ
3. งานคอนกรีตที่ต้องใช้งานในสภาวะอุณหภูมิต่ำมาก ถึง -40 °C เช่น พื้นห้องเย็น เนื่องจากการเกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สูง จึงช่วยป้องกันการเกิดการแข็งตัวของน้ำจนเป็นน้ำแข็ง



รูปที่ 4-39 ปูนซีเมนต์แคลเซียมอลูมิเนต เหมาะสำหรับงานที่ต้องสัมผัสกับความร้อน เช่น มอเตอร์รถรถไฟ



4. งานคอนกรีตที่ต้องสัมผัสกับสารเคมี

โดยปกติจะใช้กับงานที่ไม่ใช่งานโครงสร้าง เนื่องจากคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์นี้เมื่อใช้ไปนาน ๆ โดยเฉพาะในสภาพอากาศร้อนขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนรูปของ CAH_1 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 $113 - 121\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นคอนกรีตที่ผลิตจะต้องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ประมาณ $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 เศรษฐบุตร, “คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 ซีเมนต์สาร, “การเลือกปูนซีเมนต์ให้เหมาะสม”, สำนักงานเลขาธิการกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์, 2544.
- 3 รศ.ดร.พิภพ สุนทรสมัย, “วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.
- 4 เอกสารวิชาการของ บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, 2547.
- 5 เอกสารวิชาการของคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบก่อสร้าง 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

อิฐกับงานก่อสร้าง

บทที่

5



รูปที่ 5-1 อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีประวัติการใช้งานมาอย่างยาวนาน

บทคัดย่อ

อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการใช้งานแพร่หลาย มีประวัติการใช้งานมายาวนาน ปัจจุบัน มีการพัฒนารูปแบบไปมากมาย และมีหลายประเภท ทั้งที่ผลิตจากดินเป็นหลัก เช่น อิฐมอญ หรืออิฐก่อสร้างสามัญ หรืออิฐมาตรฐาน, หรือใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัตถุดิบ เช่น คอนกรีตบล็อก หรืออิฐบล็อก, คอนกรีตมวลเบา หรืออิฐมวลเบา หรือที่ใช้ทั้งสองอย่าง เช่น อิฐประสาน หรืออิฐดินซีเมนต์ ซึ่งวัสดุก่อแต่ละชนิดจะมีกระบวนการผลิต, การขึ้นรูป, คุณสมบัติ, และการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนั้น ในการเลือกใช้จึงต้องศึกษาและเลือกใช้ให้เหมาะสม



5.1 บทนำ

ย้อนไปเมื่อหลายพันปีก่อน ในช่วงเวลาที่มนุษย์เริ่มก่อร่างอารยธรรม จากอิฐก้อนเล็ก ๆ ก้อนแล้วก้อนเล่า ผ่านจินตนาการอันสูงส่ง ผ่านมือของเหล่าช่างฝีมือนับพัน ดินก้อนเล็ก ๆ ซึ่งเคยนอนอย่างสงบเยียบอยู่กันแม่น้ำก็ได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของสถาปัตยกรรมอันยิ่งใหญ่ แม้อาณาจักรจะล่มสลาย อารยธรรมจะเสื่อมสูญ แต่อิฐก็ยังคงทำหน้าที่ของมัน บอกเล่าเรื่องราวอารยธรรมให้อนุชนรุ่นหลังได้ศึกษานานนับหลายพันปี นับตั้งแต่อิฐก้อนแรกได้ถูกประดิษฐ์ขึ้น สิ่งก่อสร้างอันยิ่งใหญ่ทั้งหลายล้วนก่อตัวขึ้นมาจากอิฐก้อนเล็ก ๆ นี้ทั้งสิ้น

อิฐ เป็นเทคโนโลยีการก่อสร้าง ที่ได้รับการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพ ทั้งในเรื่องลักษณะทางกายภาพ มิติ การรับกำลัง รวมถึงวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีขึ้นมาโดยตลอด ปัจจุบันอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างในประเทศไทยก็มีหลากหลายรูปแบบ เช่น อิฐมอญ, อิฐประดับ, คอนกรีตบล็อก, และอิฐมวลเบา

5.2 ประวัติการใช้อิฐ

หลักฐานทางโบราณคดี พบการใช้อิฐมาตั้งแต่สมัยโบราณ ในสมัยอารยธรรมอียิปต์ ใช้ดินโคลนจากริมแม่น้ำไนล์มาทำ และขึ้นรูปให้เป็นก้อนตามขนาดที่ต้องการจากนั้นนำไปตากแดดให้แห้งโดยไม่ได้มีการเผาให้สุก (Sun-Burned Bricks) แต่สำหรับในบางพื้นที่ซึ่งมีฝนตกชุก เช่น ดินแดนเมโสโปเตเมีย ลุ่มแม่น้ำไทกริส-ยูเฟรติส การตากอิฐมักทำได้ลำบากและอาจพบปัญหาฝนชะล้างก้อนอิฐละลาย จึงต้องใช้วิธีเผาให้สุกก่อน แล้วจึงนำไปใช้ในการก่อสร้าง

ในดินแดนสุวรรณภูมิ สมัยที่อาณาจักรลพบุรีมีความเจริญรุ่งเรืองนั้น พบหลักฐานการใช้อิฐในการก่อสร้างเช่นกัน อิฐในสมัยนั้นมีลักษณะ แบน กว้าง ผิวเรียบ แต่อาจเป็นเพราะว่าการทำอิฐมีขั้นตอนที่ย่างยากซับซ้อน หรืออาจเป็นปัญหาจากแหล่งวัตถุดิบ ทำให้ชนชาติขอมเปลี่ยนมาใช้ศิลาแลงและหินทรายในการก่อสร้างสถาปัตยกรรมในยุคต่อมา



รูปที่ 5-2 รูปอิฐทวารวดีที่มีขนาดใหญ่

เมื่อประมาณปี พ.ศ. 1300 อาณาจักรทวารวดี ซึ่งเจริญรุ่งเรืองอยู่แถบตะวันตกของกลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ก็ได้ผลิตอิฐของตนเองขึ้นใช้เช่นกัน อิฐของทวารวดีมีขนาดใหญ่มาก ค่อนข้างแบน มีสีเทาจากจากการเผา

สำหรับคนไทย รู้จักการใช้อิฐมาตั้งแต่สมัยสุโขทัย ซึ่งถือว่ามีความเสี่ยงมากในเรื่องการทำเครื่องปั้นดินเผา อิฐของสุโขทัยมีขนาดและลักษณะคล้ายอิฐของขอม และทวารวดี แต่ในการใช้งาน เริ่มมีการนำมาประยุกต์ใช้กับงานก่อสร้างอื่น ๆ นอกเหนือจากการก่อผนัง เช่น นำมาก่อเป็นโครงพระพุทธรูป แล้วทำการฉาบปูนทับภายนอก

ต่อมา การสร้างเมืองใหม่ในสมัยอยุธยา ได้ทำให้อิฐมีความจำเป็นมากขึ้น ความรู้ในการทำอิฐจึงแพร่ขยายไปในหมู่ประชาชนเป็นวงกว้าง แบ่งเป็นสกุลช่างต่าง ๆ โดยสกุลช่างที่มีชื่อเสียงและเก่าแก่ที่สุดได้แก่ สกุลช่างทวารวดี

จากอดีตที่ผ่านมา แหล่งการทำอิฐที่สำคัญ ได้แก่ อำเภอสามโคก จังหวัดปทุมธานี ในบางพื้นที่ของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เช่น อำเภอบางปะหัน และในภาคตะวันออก เชียงเหนือ เช่น อำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด อิฐสุวรรณภูมิเป็นอิฐที่มีคุณภาพดี เนื่องจากดินที่นำมาเป็นวัตถุดิบที่สำคัญ เป็นดินที่มีคุณภาพดี ไม่เค็มมาก และมีลักษณะเป็นดินเหนียวปนทราย จึงทำให้อิฐมีความแข็ง ไม่แตกง่าย

ในสมัยรัตนโกสินทร์ คนกลุ่มแรกที่เริ่มผลิตและจำหน่ายอิฐ ได้แก่ ชาวมอญ ซึ่งตั้งชุมชนอาศัยอยู่ตามริมแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณปากเกร็ด โดยใช้ดินที่ขุดจากแม่น้ำนั้นเอง ผสมกับแกลบ ขึ้นรูปแล้วนำไปเผา เสร็จแล้วจึงใส่เรือออกเรือขายจนเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย ทำให้ชื่อ “อิฐมอญ” เป็นคำที่ใช้เรียกอิฐดินเผาจนกลายเป็นชื่อสามัญไป ซึ่งตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ หรือ มอก. 77 ใช้ชื่อว่า “อิฐก่อสร้างสามัญ”

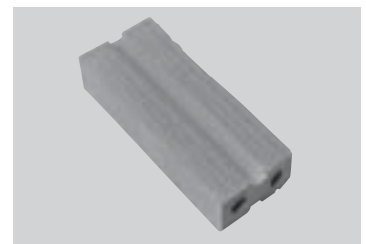
ในปัจจุบัน ถึงแม้อิฐจะมีพัฒนาการไปจากในสมัยอดีตเป็นอย่างมาก ทั้งกระบวนการผลิตที่นำเครื่องจักรเข้ามาใช้ ทำให้ได้อิฐที่มีคุณภาพ สามารถรับแรงได้มากขึ้น และมีขนาดที่ได้มาตรฐานมากขึ้น แต่อิฐมอญซึ่งเป็นอิฐที่ทำด้วยมือ ก็ยังได้รับความนิยมใช้ในงานก่อฉาบและงานโครงสร้างต่าง ๆ เพราะมีแหล่งผลิตกระจายอยู่ทั่วประเทศ ซื้อง่าย และราคาถูก ส่วนอิฐซึ่งทำด้วยเครื่องจักร ถึงแม้จะมีคุณภาพได้มาตรฐานกว่า แต่มีราคาแพง จึงนิยมใช้สำหรับงานตกแต่งหรือโชว์แนวมากกว่า

5.3 อิฐมอญ หรืออิฐก่อสร้างสามัญ หรืออิฐมาตรฐาน

ในยุคปัจจุบัน การทำอิฐส่วนใหญ่ นิยมใช้เครื่องจักรเข้ามาช่วยผลิต เนื่องจากสามารถทำงานได้รวดเร็ว และสะดวกขึ้น อีกทั้งชิ้นงานยังมีขนาดได้มาตรฐานกว่า เราจึงนิยมเรียกอิฐมอญหรืออิฐก่อสร้างสามัญ ซึ่งผลิตจากเครื่องรีดอิฐนี้ว่า “อิฐมาตรฐาน หรืออิฐโชว์แนว” เนื่องจากมีขนาดได้มาตรฐานและมีผิวเรียบสวยงาม

● กรรมวิธีการผลิต

กรรมวิธีการผลิตอิฐโดยทั่วไป ทั้งที่ผลิตด้วยมือ หรือด้วยเครื่องจักรนั้น จะประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ๆ คือ การเตรียมวัตถุดิบ, การขึ้นรูปหรือการปั้นอิฐ, การเผา, และการเตรียมจัดจำหน่าย ดังนี้



รูปที่ 5-3 อิฐมอญหรืออิฐก่อสร้างสามัญ



รูปที่ 5-4 ดิน



รูปที่ 5-5 บ่อหมักดิน



รูปที่ 5-6 แกลบ



ก) การขึ้นรูปอิฐ โดยใช้ไม้แบบที่เรียกว่า "ลอง"



ข) ไม้ที่ใช้ตบอิฐให้เข้ารูป

รูปที่ 5-7 การขึ้นรูปอิฐด้วยมือ

ในการผลิตอิฐ จะใช้วัตถุดิบหลายชนิดผสมกัน เช่น ดินเหนียว, ทราย, และเชื้อเพลิง เช่น ฟืน, หรือแกลบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ดิน : คุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดิน มีความสำคัญต่อการผลิตอิฐ ทั้งในเรื่องการผสม, การขึ้นรูป, การเผา, การรับแรงอัด, และการดูดซึมน้ำ ดินที่ใช้จะต้องเป็นดินเหนียวที่มีทรายปนอยู่บ้างในอัตราส่วนที่เหมาะสมไม่มากเกินไป และจะต้องไม่มีกรวดปน

ดินเหนียวมีคุณสมบัติช่วยให้เม็ดดินเกาะกันเป็นก้อน และขึ้นรูปได้ง่าย ในระหว่างที่ยังเผาไม่สุก แต่ดินที่มีดินเหนียวปนมากเกินไป จะหดตัวมาก จะทำให้แตกร้าวได้เมื่อผึ่งให้แห้ง และจะบิดตัวมากเมื่อเผาสุก วิธีแก้ไขจะต้องผสมทรายเพิ่ม

ดินที่มีกรวดปนอยู่ด้วย เมื่อนำไปเผา กรวดจะแปรสภาพเป็นปูนขาวฝังอยู่ในเนื้อปูนขาวจะดูดน้ำมากและทำให้อิฐแตกง่าย

โดยปกติ ดินที่จะนำมาใช้ ควรเป็นดินที่ซึดลึกลงไปประมาณ 1 - 1.5 เมตร การที่จะนำผิวดินมาใช้ จะต้องทำการผสมและนวดจนมีความเหนียวมากขึ้น ดินที่จะนำมาใช้นั้น ควรจะประกอบด้วย ดินเหนียว 60%, ทราย 20%, และแร่ธาตุอื่น ๆ (เช่น หินปูน, และเหล็กออกไซด์) อีก 20%

วิธีตรวจสอบดินที่จะนำมาใช้สามารถทดสอบง่าย ๆ โดยการนำดินมาปั้นเป็นก้อน แล้วผึ่งลมหรือตากให้แห้ง ถ้าก้อนดินหดตัวหรือแตกร้าวมาก หมายความว่าดินนั้นมีส่วนผสมของดินเหนียวมากเกินไป ถ้าก้อนดินยุ่ยหรือเปราะ แสดงว่ามีทรายปนมากเกินไป

2. ทราย : มีคุณสมบัติป้องกันการแตกร้าวและการหดตัว หากดินที่นำมาใช้มีทรายปนมากเกินไป อิฐจะเปราะและหักได้ง่าย แร่ธาตุอย่างอื่นจะช่วยในการแปรสภาพของสารในดินในขณะเผา สารจำพวกออกไซด์จะทำให้อิฐมีสีต่าง ๆ กันเมื่อเผาสุกแล้ว

3. แกลบ : อิฐมอญส่วนมาก จะมีส่วนผสมของแกลบอยู่ด้วย การใช้แกลบผสมในเนื้อดิน มีเหตุผลสืบเนื่องมาจากเมื่อเผาอิฐให้สุกแล้ว แกลบในเนื้อดินจะไหม้ไฟทำให้เกิดรูพรุนในก้อนอิฐ อิฐจะมีน้ำหนักเบา และดูดน้ำได้บ้างทำให้ปูนเกาะอิฐได้ดี ปริมาณแกลบที่ใช้ผสมจะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของดินเป็นหลัก อิฐมอญโดยทั่วไป มักจะใช้แกลบผสมประมาณ 100 ลิตร ต่ออิฐ 1,000 ก้อน

● การขึ้นรูป หรือการปั้นอิฐ

การขึ้นรูป หรือการปั้นอิฐ คือ การนำดินที่ผ่านการเตรียมโดยการหมัก ผสม และนวดแล้ว มาปั้นให้เป็นก้อน การปั้น สามารถทำได้ด้วยมือหรือทำโดยเครื่องจักร จากนั้นผึ่งให้แห้ง เพื่อเตรียมสำหรับการเผาให้เป็นอิฐ

ก่อนการหมัก จะต้องเตรียมวัตถุดิบ คัดเอาสิ่งที่ไม่ต้องการออก เช่น เศษสารอินทรีย์, รากไม้ใบหญ้า, ก้อนกรวด, และก้อนหิน เป็นต้น คลุกเคล้าให้ดินมีความชุ่มชื้นแล้วทิ้งไว้อย่างน้อยประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ดินกระจายตัวออก จะทำให้ขนาดและขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น

การปั้นอิฐในประเทศไทย ส่วนมากจะใช้แรงงานคน ปั้นด้วยมือ โดยวิธีการอัดดินลงในแบบไม้ที่มีขนาดต่าง ๆ กันออกไป ตามขนาดของอิฐที่ต้องการ ขนาดของอิฐที่ทำกันในแต่ละท้องถิ่นจะแตกต่างกันออกไป ด้วยเหตุนี้ ศูนย์กำหนดรายการมาตรฐานแห่งประเทศไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย จึงได้ร่วมมือกับสถาบันที่เกี่ยวกับการก่อสร้าง เช่น วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, สมาคมสถาปนิกสยาม, กรมโยธาเทศบาล, และกระทรวงมหาดไทย เป็นต้น ทำการกำหนดขนาดและมิติของอิฐขึ้น เปรียบเทียบกับอิฐในท้องถิ่นต่าง ๆ ดัง ตารางที่ 5-1

แหล่งผลิต		ขนาดของอิฐ (เซนติเมตร)		
		กว้าง	ยาว	หนา
ขนาดมาตรฐาน	ขนาดที่ 1	9	19	9
	ขนาดที่ 2	9	19	4
ภาคกลาง	(นนทบุรี, ปทุมธานี)	7	16	3
	(อยุธยา)	6	13	3
ภาคเหนือ	(ลำปาง, เชียงราย, เชียงใหม่)	7	17	4
ภาคอีสาน	(ชัยภูมิ, ขอนแก่น, นครพนม, อุบลราชธานี)	7.5	17.5	3.5
	(อุดรธานี, หนองคาย, สกลนคร)	10	20	5
ภาคตะวันออก	(ชลบุรี, ระยอง, จันทบุรี, ตราด)	7.5	20	5
ภาคตะวันตก	(นครปฐม, สุพรรณบุรี, กาญจนบุรี)	7.5	17.5	3.5
ภาคใต้	(นครศรีธรรมราช)	8	18.5	4.5

ตารางที่ 5-1 ตารางเปรียบเทียบขนาดและมิติของอิฐในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย

ก้อนดินที่อัดลงในแม่พิมพ์แล้ว เรียกว่า “อิฐดิบ” หลังจากตากอิฐดิบไว้ประมาณ 8 ชั่วโมง จะทำการดบอิฐด้วยไม้ยาว เพื่อให้แน่นและเข้ารูป หลังจากดบแล้ว จะนำอิฐมาใส่ให้เข้ารูปได้สัดส่วน จากนั้นตากให้แห้งอีกประมาณ 2 - 4 วัน เมื่ออิฐดิบแห้งสนิทแล้ว จึงจะนำมาวางซ้อนกันแบบโปร่ง ๆ เพื่อให้แห้งสนิทยิ่งขึ้นแล้วรอการเผาต่อไป การวางอิฐซ้อนกันลักษณะนี้ เรียกว่า “การคูลอิฐ”

ส่วนอิฐที่ผลิตโดยใช้เครื่องจักร หรือเครื่องรีดอิฐนั้น วัตถุดิบจะถูกหมักอยู่ในบ่อหมักข้างเครื่องรีด จากนั้นจะถูกลำเลียงป้อนเข้าเครื่อง อันดบแรก เครื่องจะทำการตีและนวดให้ดินเข้ากันก่อนถูกรีดออกมาอีกด้านหนึ่ง ดินที่ถูกรีดออกมาเป็นเส้นยาวจะถูกตัดด้วยสวตแบ่งเป็นก้อน อิฐดิบจะถูกนำไปตากก่อนทำการเผา

● การเผา

การเผาอิฐ เป็นขั้นตอนที่สำคัญ และต้องเสียค่าใช้จ่ายมากที่สุดในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงที่ใช้สามารถเลือกใช้ได้ทั้งแกลบและฟืน แต่โดยส่วนใหญ่คนไทยจะนิยมใช้แกลบในการเผา ในบางประเทศ เช่น อินเดียและไต้หวัน ซึ่งไม่มีทั้งแกลบและฟืน จะเผาโดยใช้ผงถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง สำหรับระยะเวลาในการเผาก็จะแตกต่างกัน การเผาด้วยฟืนจะใช้เวลาน้อยกว่าการเผาด้วยแกลบ



ก) เครื่องรีดอิฐ



ข) การตัดอิฐเป็นก้อน ๆ ด้วยสวต

รูปที่ 5-8 การขึ้นรูปอิฐมาตรฐานโดยใช้เครื่องจักร



รูปที่ 5-9 การตากอิฐให้แห้ง ใช้เวลา 2 - 4 วัน



รูปที่ 5-10 การคูลอิฐ



รูปที่ 5-11 ลักษณะการเรียงอิฐในเตาเผาจะเรียงให้มีช่องระบายความร้อนได้อย่างทั่วถึง



รูปที่ 5-12 การใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผาอิฐ



ก) เตาเผาอิฐแบบชั่วคราว



ข) เตาเผาอิฐแบบถาวร (ใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิง)

รูปที่ 5-13 เตาเผาอิฐ

เตาเผาอิฐที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในประเทศ จะมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ ได้แก่ เตาเผาอิฐแบบชั่วคราว, และเตาเผาอิฐแบบถาวร

เตาเผาอิฐแบบชั่วคราว เป็นเตาที่สร้างขึ้นสำหรับใช้เผาอิฐครั้งหนึ่ง ๆ เมื่อเผาจนสุกแล้วก็รื้อออก โดยทั่วไป จะนำอิฐมากองเรียงกันเป็นแถว มีช่องไฟห่างกันเล็กน้อย ผึ่งโดยรอบใช้อิฐวางเรียงกันปิดทับ สูงกว่ากองด้านใน ด้านบนเปิดไว้สำหรับเติมแกลบ เมื่อจุดไฟให้ด้านล่างติดไฟทั่วแล้ว ก็สูมไฟให้คุ ดิตลามมาจนถึงด้านบน ใช้เวลาเผาประมาณ 15 - 20 วัน

ส่วนเตาเผาอิฐที่ใช้พื้นนั้น ด้านในจะวางอิฐติดกันทึบ เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ฐานด้านล่างมีช่องให้ความร้อนผ่านได้ตลอด บางครั้ง ช่องระหว่างแถวอาจจะมีช่องไฟบ้างแต่ก็แคบมาก ตลอดเวลาการเผานั้น จะต้องคอยควบคุมความร้อนให้สม่ำเสมออยู่ตลอดเวลา ด้วยการเขี่ยเชื้อเพลิงให้กระจายเต็มพื้นที่ หากเชื้อเพลิงกองอยู่ที่ใดที่หนึ่งมากเกินไป จะทำให้ความร้อนบริเวณนั้นสูงมากเกินไป อิฐที่ได้จะมีสีดำนไม่สวยงาม และไม่แข็งแรง

เตาเผาอิฐแบบชั่วคราวนี้ จะมีอิฐแตกหักเสียหายอยู่บ้าง โดยเฉพาะในกรณีที่ดินไม่ดี หรืออิฐดิบยังไม่แห้งสนิท อาจมีการแตกหักเสียหายถึง 15 - 20% ถ้าเผาด้วยเตาเผาแบบถาวร จะมีอัตราความเสียหายน้อยกว่า

เตาเผาอิฐแบบถาวร จะต้องลงทุนสูงกว่าเตาแบบชั่วคราว เพราะอิฐที่ใช้ก่อผนังเตาจะต้องเป็นอิฐแบบพิเศษ สามารถทนความร้อนได้สูง มีขนาดใหญ่กว่าอิฐธรรมดา ค่าก่อสร้างแพง และยังต้องมีการบำรุงรักษาด้วย แต่จะมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่าแบบชั่วคราว สามารถเผาได้ทุกฤดูกาล หรือประยุกต์ใช้เผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาอื่น ๆ เช่น กระเบื้องมุงหลังคา หรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้อีกด้วย ในประเทศไทยพบเห็นได้สามแบบ

- **แบบเตามังกร** : เตาที่ก่อเป็นอุโมงค์ยาว ด้านหนึ่งต่ำ สำหรับใส่เชื้อเพลิง ตลอดตัวเตามีช่องใส่ฟืนเป็นระยะ ๆ อีกด้านหนึ่งสูงติดกับปล่องไฟ มีประตูสำหรับลำเลียงอิฐเข้าในเตา การเรียงอิฐ จะวางให้มีช่องไฟเล็กน้อย การเผาจะใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมงก็จะสุก แต่จะต้องทำการอบไว้อีกประมาณ 3 วัน จนกระทั่งเตาเย็นแล้ว จึงขนอิฐสุกออกมา
- **แบบเตาได้หัว** : เตาที่ก่อเป็นรูปกะทะคว่ำ ปล่องไฟอาจอยู่ตรงกลาง หรือต่อออกไปด้านนอกของเตา ช่องใส่เชื้อเพลิงอาจมีอยู่หลายช่องเช่นเดียวกับแบบเตามังกร เมื่อเผาจนอิฐสุกจะต้องอบไว้จนเตาเย็นจึงค่อยขนอิฐออกมาใช้งานได้
- **แบบเตาเหลี่ยม** : การก่อเตาจะก่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้านหนึ่งเป็นประตูสำหรับขนถ่ายอิฐและใส่เชื้อเพลิง อีกสามด้านทึบ ด้านตรงข้ามประตูจะมีช่องต่อกับปล่องไฟ การใช้งานจะเหมือนกับสองแบบข้างต้น

● การคัดอิฐ

อิฐที่เผาจนสุกแล้ว จะแบ่งตามลักษณะทางกายภาพของเนื้ออิฐได้ดังนี้

1. **อิฐชั้นที่ 1** : เป็นอิฐที่เผาได้คุณภาพดีที่สุด มีลักษณะสุกทั่วทั้งก้อน อิฐจะมีสีเหลืองปนแดง เวลาเคาะมีเสียงกังวาน เนื้อแกร่ง รูปร่างและขนาดสม่ำเสมอ

2. อิฐชั้นที่ 2 : มีลักษณะสุกทั่วทั้งก้อน แต่รูปร่างอาจบิดเบี้ยวเล็กน้อย ผิว
ก่อนอาจมีรอยร้าวบ้าง
3. อิฐชั้นที่ 3 : เป็นอิฐที่เผาไม่สุกทั่วทั้งก้อน จะมีสีเหลืองซีดจางกว่าอิฐชั้นที่
1 หรืออาจมีสีเหลืองปนดำ แข็งตัวไม่เท่ากันทั้งก้อน ส่วนที่ไม่ค่อยสุกจะ
ยุ่ยง่าย เวลาเคาะมีเสียงดังทึบ รูปร่างและขนาดก็อาจจะบิดเบี้ยวและไม่
สม่ำเสมอ บางครั้งจะพบรอยแตกร้าวเล็ก
4. อิฐชั้นที่ 4 : เป็นอิฐที่เผาจนสุกเกินไป สีจะออกค่อนข้างดำ รูปร่างและขนาด
ไม่สม่ำเสมอ และมีรอยแตกร้าวลึก

อิฐที่เหมาะสมกับการทำงานก่อสร้างอาคาร คืออิฐชั้นที่ 1 หรือ 2 ส่วนอิฐชั้นที่ 3 และ
4 นั้น โดยปกติผู้ผลิตจะไม่ส่งออกขายในตลาดทั่วไป แต่จะขายให้แก่ผู้ที่ต้องการใช้ในงานอื่น
เช่น ทำถนน หรือนำไปทุบสำหรับเป็นพื้นก่อนเทพคอนกรีตลงฐานรากอาคาร หรืองานปรับระดับ



รูปที่ 5-14 การเผาอิฐ



รูปที่ 5-15 อิฐที่เผาจนสุกแล้ว

5.4 คอนกรีตบล็อก หรืออิฐบล็อก

วัสดุก่ออีกประเภทหนึ่งที่มีความนิยมในประเทศไทย คือ คอนกรีตบล็อก หรือ
อิฐบล็อก (Concrete Block) มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมขนาดโดยประมาณ 20 x 40
เซนติเมตร หนา 7 - 10 เซนติเมตร การใช้งาน ใช้ก่อลักษณะเดียวกับการก่ออิฐ แต่จะมี
ข้อดีคือ สามารถก่อได้รวดเร็วกว่าและมีขนาดมาตรฐานกว่า ทำให้ประมาณจำนวนวัสดุได้ง่าย
และเมื่อรวมค่าแรงการก่อสร้างแล้ว จะถูกกว่าการก่ออิฐ

● การเตรียมวัตถุดิบ

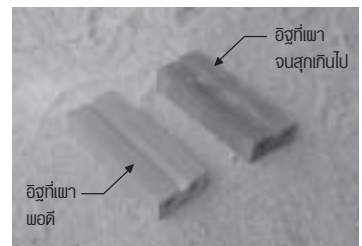
คอนกรีตบล็อกทำจากปูนซีเมนต์ ผสมกับมวลรวมขนาดเล็ก เช่น ทราย, กรวด, หิน
ย่อย, และหินฝุ่น เป็นต้น การคัดเลือกวัตถุดิบ ต้องคัดเลือกหินที่มีความแข็งแรง ไม่เปราะ
แตกหักง่าย เพราะจะส่งผลต่อความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อก

● การขึ้นรูป

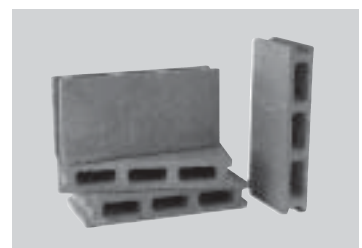
โดยการผสมแห้งหรือชื้น เริ่มด้วยการนำปูนซีเมนต์ผสมกับหินเกล็ดหรือหินย่อย
และน้ำสะอาด ผสมให้เข้ากัน อัดผ่านเครื่องอัดบล็อกซึ่งมีทั้งแบบอัตโนมัติและแบบใช้มือควบคุม
หลังจากแกะแบบแล้ว บ่มไว้อีกประมาณ 7 - 14 วัน ก็สามารถนำไปใช้งานได้

● การเลือกใช้งาน

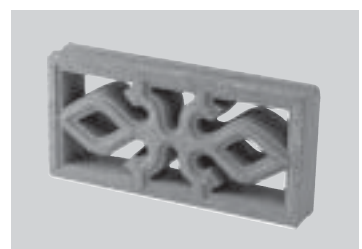
คอนกรีตบล็อกมีทั้งแบบรับน้ำหนักและแบบไม่รับน้ำหนัก แบบรับน้ำหนักจะมี
ลักษณะเป็นแท่งผิวเรียบ มีรูตรงกลางในแนวตั้ง ส่วนแบบไม่รับน้ำหนัก หรือที่เรียกว่า
Screen Block จะมีช่องเป็นลวดลาย เมื่อก่อแล้วสามารถต่อเป็นลวดลายหรือให้แดดลมผ่านได้
นิยมเรียกเป็นภาษาชาวบ้านว่า “บล็อกช่องลม”



รูปที่ 5-16 อิฐที่เผาพอดี กับอิฐที่เผาจนสุกเกินไป



รูปที่ 5-17 คอนกรีตบล็อก หรืออิฐบล็อก (Concrete Block)



รูปที่ 5-18 บล็อกช่องลม (Screen Block)



5.5 คอนกรีตมวลเบา หรืออิฐมวลเบา

● ประวัติการใช้งาน



รูปที่ 5-19 คอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบา

วัสดุอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมสำหรับงานก่อสร้าง ได้แก่ Autoclaved Aerated Concrete หรือเรียกว่า คอนกรีตมวลเบา (บางที นิยมใช้คำว่า อิฐมวลเบา) เริ่มมีการค้นคว้าพัฒนาในแถบยุโรปเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2466 และผลิตจำหน่ายประมาณปี พ.ศ. 2473 เนื่องจากคุณสมบัติเด่นของวัสดุซึ่งสามารถใช้งานได้ดีในสภาวะอากาศที่รุนแรง เช่น แถบอากาศหนาวจัดในแถบยุโรปและญี่ปุ่นตอนบน มีน้ำหนักเบาทำให้ประหยัดโครงสร้าง และมีความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี เริ่มมีการผลิตใช้ในประเทศไทยตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ. 2538 มีลักษณะเป็นก้อนสีขาว มีรูพรุน ขนาดก้อน 20 x 60 เซนติเมตร ทหนา 7.5 - 10.0 เซนติเมตร เป็นต้น

● วัตถุดิบ

คอนกรีตมวลเบา ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, ทราย, ยิปซั่ม, ปูนขาว, ผสมกับ น้ำ และผงอลูมิเนียม (ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ)

● การขึ้นรูป



รูปที่ 5-20 รูพรุนในเนื้อคอนกรีตมวลเบา

การผลิตคอนกรีตมวลเบา จะผลิตโดยใช้เครื่องจักรควบคุม ในขั้นตอนแรกจะผสม วัตถุดิบชนิดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เมื่อผงอลูมิเนียมผสมกับน้ำ จะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กที่ไม่ต่อเนื่องกัน (Close Cell) กระจายอยู่ทั่วเนื้อวัสดุ (ปริมาณฟองอากาศจะมากถึง 75% ของเนื้อวัสดุโดยปริมาตร) ทำให้วัสดุมีน้ำหนักเบา และมีความเป็นฉนวนที่ดี หลังจากนั้น จะตัดเป็นก้อนด้วยเส้นลวดตามขนาดต่าง ๆ ที่ต้องการ และนำไปอบในเตาอบไอน้ำความดัน สูงขนาดใหญ่ (High Pressure Steam Autoclave) ด้วยอุณหภูมิประมาณ 180 °C เป็น เวลา 12 ชั่วโมง

การผลิตคอนกรีตมวลเบา มีมาตรฐานควบคุม คือ มอก. 1505 คอนกรีตมวลเบาแบบกระจายกักฟองอากาศอบไอน้ำ

● วิธีการใช้งาน

คอนกรีตมวลเบา หรืออิฐมวลเบา สามารถใช้เป็นวัสดุก่อผนังได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ปูนก่อนี้ จะมีความหนาเพียง 2 - 3 มิลลิเมตร เท่านั้น

ก่อนเริ่มการก่อ ในขั้นแรก จะใช้ปูนทรายทั่วไป ปรับระดับพื้นเสียก่อน จากนั้น ทำการก่อ โดยก่อสลับก้อน และจะต้องยึดเหล็กเพลท (Metal Strap) หรือหนวดกุ้งทุก ๆ 2 ชั้น เนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาจะแตกต่างจากอิฐทั่วไปมาก จึงต้องการปูน ฉาบที่อุ้มน้ำและยึดเกาะได้ดีเป็นพิเศษ ฉาบปูนฉาบจะมีความหนาเพียง 5 - 10 มิลลิเมตร เท่านั้น

ความหนา Block	ตกแต่งผิว	อัตราการกันเสียง (เดซิเบล) SCT Ratings
10 ซม.	ไม่ฉาบ 38 ฉาบหนา 1 ซม.	43
15 ซม.	ไม่ฉาบ 43 ฉาบหนา 1 ซม.	46
20 ซม.	ไม่ฉาบ 48 ฉาบหนา 1 ซม.	50

ตารางที่ 5-2 อัตราการกันเสียง (Acoustic Performance)

ความหนา (เซนติเมตร)	7.5	10.0	12.5	15.0	20.0
อัตราการทนไฟ (ชั่วโมง)					
• พลังไม่รับน้ำหนัก	4 ชม.	4 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	8 ชม.
• พลังรับน้ำหนัก	-	2 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	4 ชม.

ตารางที่ 5-3 อัตราการทนไฟ (Fire Rating)

รายการ	อิฐมอญ	คอนกรีตบล็อก	คอนกรีตมวลเบา
ขนาด ก x ย x ส (ซม.)	7 x 15 x 6	20 x 40 x 7	20 x 60 x 7.5 20 x 60 x 10.0
น้ำหนักวัสดุ (กก./ตร.ม.)	130	115	50
น้ำหนักพูนัง(กก/ตร.ม.) ⁽¹⁾	200	180	125
จำนวนก้อน ต่อตารางเมตร	120	12.5	8.33
ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.)	20 - 40	10.15	35 - 80
อัตราการดูดซึมน้ำ (%โดยปริมาตร)	40%	-	30.23%
ค่าการหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) (มม./ตร.ม.)	1.8	-	0.2
ค่าความต้านทานความร้อน (P) (ตร.ม. องศาเซลเซียส/วัตต์)	0.073	-	0.843
ค่าการนำความร้อน (K) (W/mK)	1.15	-	0.089 - 0.132
อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) (วัตต์/ตารางเมตร)	58 - 70	-	32 - 42
อัตราการทนไฟ (ชม.) ⁽²⁾	1 - 2	-	4
ความหนาของปูนก่อ (ซม.)	1.5 - 2.0	1.0 - 1.5	0.23
ปูนก่อที่ใช้	ปูนซีเมนต์ผสม	ปูนซีเมนต์ผสม	ปูนก่ออิฐมวลเบา
ความหนาของปูนฉาบ (ซม.)	1.5 - 3.0	1.5 - 3.0	0.3 - 1.0
ปูนฉาบที่ใช้	ปูนซีเมนต์ผสม หรือปูนซีเมนต์ Masonry		ปูนฉาบอิฐมวลเบา
ความเร็วในการก่อ (ตร.ม./วัน)	6 - 8	12	15 - 25
การต่อตะปู	ตอกได้แข็งแรง	อาจแตกได้เล็กน้อย	ต้องใช้ทุบ

ตารางที่ 5-4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติวัสดุก่อประเภทต่าง ๆ

(1) คัดรวมปูนก่อ และปูนฉาบ 2 ด้าน ที่ความหนาพูนัง 10 เซนติเมตร

(2) คัดอัตราการทนไฟ 1,100 °C ที่ความหนาพูนัง 10 เซนติเมตร



5.6 อิฐประสาน หรืออิฐดินซีเมนต์



รูปที่ 5-21 อิฐประสาน หรืออิฐดินซีเมนต์ 2



รูปที่ 5-22 เครื่องตีดินลูกรัง 2



รูปที่ 5-23 การขึ้นรูป 2

อิฐประสาน เป็นอิฐที่มีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น อิฐ ว.ท., บล็อกประสาน, อิฐดินซีเมนต์, อิฐคงทอง, และอิฐดินแดง เป็นต้น เนื่องจากมีผู้ผลิตหลายราย และยังคงอยู่ในระหว่างการพัฒนาทั้งในด้านรูปแบบและคุณสมบัติ จึงมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไป รูปแบบจะคล้ายกับอิฐก่อทั่วไป แต่จะมีขนาดใหญ่กว่ามาก เนื่องจากใช้เป็นระบบผนังรับน้ำหนัก (Bearing Wall) ซึ่งจะแตกต่างจากผนังก่ออิฐที่ก่อทั่วไป

● วัตถุดิบ

วัตถุดิบสำหรับการทำอิฐประสาน ประกอบด้วย

ปูนซีเมนต์ : ปูนซีเมนต์ที่ใช้ จะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

หินฝุ่น : เป็นหินบดละเอียด มีลักษณะเป็นเกล็ดเล็ก ๆ มีผงบ้าง ควรคัดเลือกจากแหล่งหินที่มีความแข็งแรง

ทราย : เลือกทรายที่สะอาด สามารถใช้ได้ทั้งทรายหยาบและทรายละเอียด แต่จะให้ผิวที่แตกต่างกัน โดยทรายละเอียดจะให้ผิวอิฐที่เรียบมันกว่า

ดินลูกรัง : เป็นวัสดุที่หยาบกว่าอิฐ เป็นวัสดุที่ต้องมีการจัดเตรียมก่อนนำมาใช้งาน ดินลูกรังที่จะใช้ ต้องแห้งสนิท ร่อนเฉพาะผงละเอียดมาใช้ ผงดินลูกรังที่มีความชื้นจะจับตัวเป็นก้อนอยู่ภายในก้อนอิฐ ทำให้อิฐรับกำลังได้น้อยลง

● การขึ้นรูป

ผสมปูนซีเมนต์ 1 ส่วน หินฝุ่น 3 ส่วน ทราย 2 ส่วน ผงดินลูกรัง 2 ส่วน โดยประมาณ คลุกเคล้าให้เข้ากัน ผสมน้ำ 1 ส่วน จนวัสดุเปียกหมาด ๆ สามารถปั้นเป็นก้อนได้

นำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปอิฐ เครื่องอัดจะมีคั่นโยกเพื่อกดอัดให้อิฐมีเนื้อแน่น แข็งแรง รูปร่างของอิฐที่ได้อาจแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดและสวดลายของเครื่องอัดนี้เอง หลังจากการอัดขึ้นรูปแล้ว นำไปวางเรียงในที่ร่ม และทำการบ่มด้วยน้ำอีกเช่นเดียวกับการบ่มผลิตภัณฑ์คอนกรีต เป็นเวลา 7 วัน

● การใช้งาน

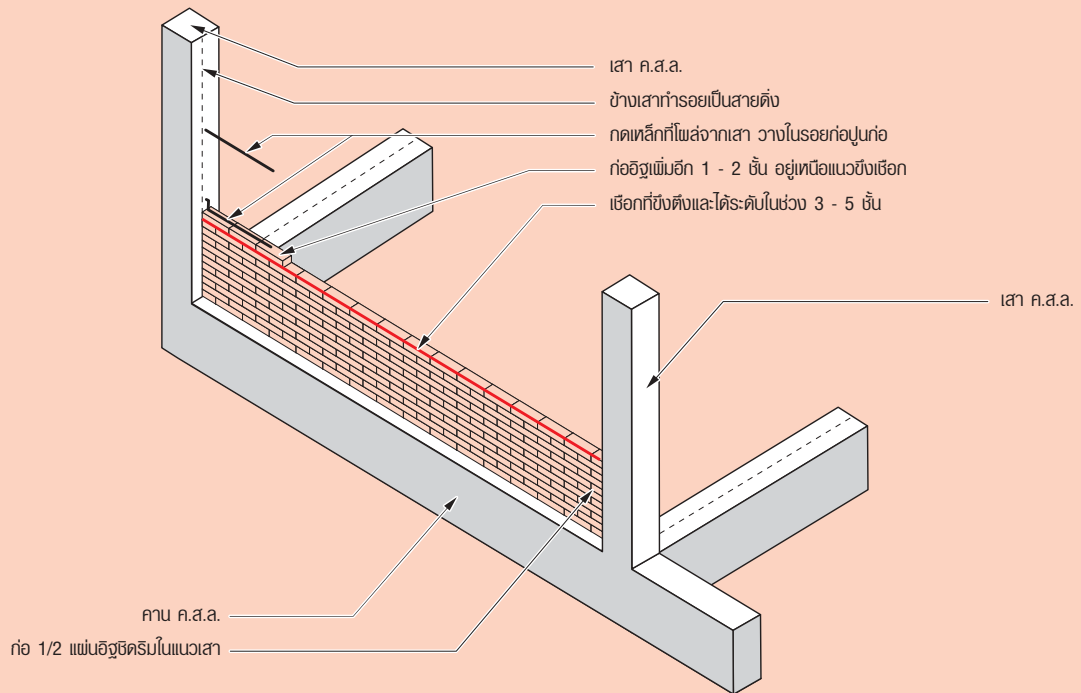
การใช้งานอิฐประสานหรืออิฐดินซีเมนต์นี้ จะใช้ก่อเป็นผนังรับแรง โดยจะต้องมีการเสริมเหล็กทั้งแนวราบและแนวตั้ง เป็นระยะไม่เกิน 1.20 เมตร และตามแนวยกบ เป็นต้น

มาตรฐานอ้างอิง

- มอก. 59-2516 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐคอนกรีต
- มอก. 77-2531 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ
- มอก. 102-2529 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐกลวงรับน้ำหนัก
- มอก. 103-2529 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐกลวงไม่รับน้ำหนัก
- มอก. 153-2533 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐกลวงก่อแผงไม่รับน้ำหนัก
- มอก. 154-2518 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐกลวงทำพื้น
- มอก. 167-2529 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐประดับเคลือบสีลิกเก็ต หรืออิฐปูแนวทราย
- มอก. 168-2531 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐประดับ
- มอก. 169-2519 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐกลวงประดับ
- มอก. 243-2520 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีชักตัวอย่างและทดสอบอิฐและอิฐกลวง
- มอก. 1505-2541 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

เอกสารอ้างอิง

- 1 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, “วารสาร บริการอุตสาหกรรมสาร”, ปีที่ 3 ฉบับที่ 1, 2.
- 2 เขม เกศทอง, “คู่มือสร้างบ้านด้วยอิฐประสาน”, 2545.
- 3 บริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชันโปรดักส์ จำกัด (มหาชน), “คอนกรีตมวลเบา”, 2547.
- 4 วิโรจน์ ศรีสุโร, “ธาตุยีสาน”, 2539.
- 5 สยาม ณรงค์ฤทธิ์, “คนเผาอิฐ”, 2542.
- 6 สุนันท์ ท้องสวัสดิ์, ฉลองรัฐ จงยิ่งศิริ, “การศึกษาด้านวิศวกรรมของอิฐมอญในจังหวัดอยุธยา อ่างทอง และลพบุรี”, 2541.
- 7 Del E. Webb School of Construction, “Autoclaved Aerated Concrete”, 2001.



รูปที่ 6-1 เทคนิคงานก่อ

บทคัดย่อ

งานก่อสร้างผนังก่ออิฐฉาบปูน แบ่งได้เป็น 2 งานหลัก ได้แก่ งานก่อ และงานฉาบ โดยเนื้อหาในบทนี้ จะครอบคลุมเฉพาะงานก่อเท่านั้น ส่วนงานฉาบจะได้กล่าวไว้ในบทต่อไป

การก่ออิฐ เป็นการจัดหรือการเรียงแผ่นอิฐสลับกันในรูปแบบต่าง ๆ อย่างมีระเบียบ เพื่อให้เกิดรูปทรงตามต้องการ นอกจากนั้น จะต้องมีการยึดประสานกันระหว่างแผ่นอิฐ เพื่อให้ผนังหรือสิ่งที่มีมีความแข็งแรง คงทนอยู่ได้ และสามารถรับน้ำหนักของตัวเองและน้ำหนักอื่น ๆ ที่วางทับได้โดยไม่เกิดการเสียหรือเกิดการพังทลาย

ปูนก่อที่ดี จะต้องมีความชื้นเหลวพอเหมาะ เหนียวนุ่ม เวลาปั้นจะจับตัวเป็นก้อนไม่แห้งแตก ยึดเกาะก้อนอิฐได้ดี มีระยะเวลาการแห้งตัวพอเหมาะ เมื่อแข็งตัวแล้ว จะต้องไม่ยัดหรือหดตัวมาก มีแรงยึดเหนี่ยวที่ดี สามารถรับแรงอัด แรงเฉือน และแรงดึงได้ไม่ต่ำกว่ากำลังของอิฐหรือวัสดุที่ใช้ก่อ

เทคนิคการก่ออิฐ ได้แก่ การรดน้ำหรือการแช่อิฐในน้ำให้อิ่มตัว ก่อนนำไปใช้ก่อ, การชิงเอ็นทั้งแนวนอนและแนวตั้ง, การเริ่มก่อและการเรียงอิฐ, ความหนาของชั้นปูนก่อ, การตรวจสอบแนวและระดับในขณะก่อ, การเทียบเหล็กกับผนังก่ออิฐ, การทำเสาเอ็นและคานทับหลัง, การก่อได้ท้องคาน, การก่ออิฐขึ้นเป็นบัวได้กรอบหน้าต่าง, และการบ่มขึ้นผนังให้เพียงพอ



6.1 ปูนก่อ

ปูนก่อ หมายถึง ของผสมที่ได้จากการผสมปูนซีเมนต์ ทราย และจะมีปูนขาว⁽¹⁾ หรือไม่ก็ได้ เมื่อจะใช้งานก็นำไปผสมน้ำ ให้ความชื้นเพียงพอเหมาะ ใช้สำหรับประสานหรือยึดก้อนวัสดุก่อ (เช่น อิฐมวลเบา, อิฐบล็อกหรือคอนกรีตบล็อก) เข้าด้วยกัน และมีส่วนช่วยกระจายน้ำหนักที่ได้รับออกไปอย่างสม่ำเสมอทั่ววัสดุก่อที่รองรับ รวมทั้งช่วยป้องกันการถ่ายเทอุณหภูมิและความชื้นจากผนังด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้อีกด้วย

ปูนก่อ ควรมีคุณภาพสอดคล้องตาม **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนก่อ หรือ มอก. 598** ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ชนิด ตามความต้านทานแรงอัด ใน **ตารางที่ 6-1** ได้แก่ ชนิด 05, ชนิด 25, ชนิด 50, ชนิด 125, และชนิด 170

ชนิด	กำลังอัดมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
05	5
25	25
50	50
125	125
170	170

ตารางที่ 6-1 การแบ่งชนิดของปูนก่อตามค่ากำลังอัด

ปูนก่อที่ดี จะต้องประกอบด้วยคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีความชื้นเพียงพอเหมาะ เทเหนียวนุ่ม เวลาปั้นจะจับตัวเป็นก้อน ไม่แห้งแตก ยึดเกาะก้อนอิฐได้ดี แต่ไม่เหนียวติดเกรียง ไม่ร่วงหล่นในขณะเคาะอิฐให้ได้ระดับหรือยุบตัวได้ง่าย
 2. มีระยะเวลาการแห้งตัวพอเหมาะ
 3. เมื่อแข็งตัวแล้ว จะต้องไม่ยัดหรือหดตัวมาก จนเกิดการแตกร้าวขึ้นในปูนก่อ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ หรือความชื้น
 4. ต้องมีแรงยึดเหนี่ยวที่ดีพอในการยึดเกาะอิฐหรือวัสดุที่ใช้ก่อ และสามารถรับแรงอัด แรงเฉือน และแรงดึง ได้ไม่ต่ำกว่ากำลังของอิฐหรือวัสดุที่ใช้ก่อ
- ความมั่นคงแข็งแรงของงานก่อ ส่วนหนึ่งนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่าง ๆ ของปูนก่อ เช่น ความชื้นเหลว, การยึดเกาะ, ความอึดน้ำ⁽²⁾, การยัดหรือหดตัว, ความต้านทานแรงอัด,

(1) **ปูนขาว หรือ ปูนสุก (Hydrated Lime)** หมายถึง ปูนที่ได้จากการผสมปูนดิบกับน้ำพอที่จะรวมกันทำปฏิกิริยาทางเคมีเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2)

ปูนดิบ (Quick Lime) หมายถึง ปูนที่ได้จากการเผาหินปูน ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์

(2) **ความอึดน้ำ (Water Retention)** หมายถึง อัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ระหว่างค่าการไหลของปูนก่อหลังการดูดน้ำออกจากส่วนผสม กับค่าการไหลผ่านของปูนก่อก่อนการดูดน้ำออกจากส่วนผสม

ปูนก่อต้องมีค่าความอึดน้ำไม่น้อยกว่า 75% ทั้งนี้โดยการผสมให้มีค่าการไหลผ่านเบื้องต้น 100 - 115% และเมื่อดูดน้ำออกแล้วมีการไหลผ่านไม่น้อยกว่า 75% ของการไหลผ่านเบื้องต้น โดยการทดสอบให้ปฏิบัติตาม ASTM C 91

และความคงทน เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้ เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของปูนก่อ ดังนั้น การเลือกชนิดของปูนก่อเพื่อใช้ในงานใดงานหนึ่งโดยเฉพาะ เป็นสิ่งสำคัญยิ่งที่จะต้องเลือกชนิดที่ให้ประโยชน์ใช้สอยมากที่สุด ดัง **ตารางที่ 6-2** ซึ่งเป็นข้อแนะนำทั่ว ๆ ไป สำหรับใช้ในการเลือกชนิดของปูนก่อ สำหรับงานก่อผนังวัสดุก่อชนิดต่าง ๆ การเลือกชนิดของปูนก่อ ควรขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุก่อที่จะใช้ด้วย

รายการที่	ตำแหน่ง	ส่วนของอาคาร	ชนิดของปูนก่อ ⁽¹⁾	
			ชนิดที่แนะนำให้ใช้	ชนิดที่ใช้แทนได้
1	ภายนอกอาคาร เหนือระดับดิน	ผนังรับน้ำหนัก	ชนิด 50	ชนิด 125 หรือชนิด 170
		ผนังไม่รับน้ำหนัก	ชนิด 25 ⁽²⁾	ชนิด 50 หรือชนิด 125
		แผงบัง	ชนิด 50	ชนิด 125
2	ภายนอกอาคาร ที่ระดับดินและ ต่ำกว่าระดับดิน	ผนังฐานราก	ชนิด 125 ⁽³⁾	ชนิด 170 หรือชนิด 50 ⁽³⁾
		กำแพงกันดิน		
		บ่อตรวจท่อระบายน้ำ พืวจจรจร ทางเท้า และชาน		
3	ภายในอาคาร	ผนังรับน้ำหนัก	ชนิด 50	ชนิด 125 หรือชนิด 170
		ฝาประตู-หน้าต่างไม่รับ	ชนิด 25	ชนิด 05 หรือชนิด 50
		น้ำหนัก		

ตารางที่ 6-2 ข้อแนะนำในการเลือกชนิดของปูนก่อสำหรับงานก่อ

(1) ตารางนี้ ไม่ได้กำหนดปูนก่อสำหรับงานเฉพาะอีกหลายงาน เช่น งานปล่องควัน, งานก่อเหล็กเสริม, และปูนก่อด้านฤทธิ์กรด

(2) ปูนก่อชนิด 25 แนะนำให้ใช้สำหรับงานก่อที่อุณหภูมิไม่ถึงจุดเยือกแข็งเมื่ออิมน้ำ หรือไม่ถูกกระแสน้ำแรง หรือแรงกระทำทางขวางอย่างรุนแรง ปูนก่อชนิด 50 หรือชนิด 125 ควรใช้สำหรับกรณีอื่น ๆ

(3) งานก่อซึ่งเผชิญต่อลมฟ้าอากาศ สำหรับผิวหน้าที่อยู่ในแนวระดับโดยประมาณมีโอกาสที่จะผุกร่อนเพราะลมฟ้าอากาศอย่างมาก ควรเลือกปูนก่อสำหรับงานก่อประเภทนี้ด้วยความระมัดระวัง

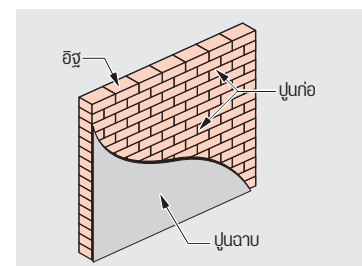
ปูนก่อมีอยู่หลายชนิดที่ใช้ในงานก่อสร้าง เช่น งานก่ออิฐผนังหรือกำแพง, งานปูกระเบื้อง, งานต่อท่อคอนกรีต เป็นต้น

งานก่อสร้างผนังก่ออิฐฉาบปูน แบ่งได้เป็น 2 งานหลัก ได้แก่ งานก่อ และงานฉาบ โดยเนื้อหาในบทนี้ จะครอบคลุมเฉพาะงานก่อเท่านั้น ส่วนงานฉาบจะได้กล่าวไว้ในบทถัดไป

6.2 งานก่อ

งานก่อ เป็นเทคโนโลยีการก่อสร้างที่มนุษย์รู้จักใช้มาตั้งแต่ยุคโบราณ นับตั้งแต่การสร้างปิรามิดในอียิปต์สมัยโบราณ จวบจนกระทั่งสมัยปัจจุบัน เนื่องจากเป็นเทคนิคการก่อสร้างที่สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย สามารถจัดเรียงให้เกิดลวดลายที่สวยงาม แข็งแรง และประหยัด เกิดเป็นสถาปัตยกรรมต่าง ๆ ที่ยิ่งใหญ่และสวยงาม

ในเมืองไทย งานก่อ เป็นเทคนิควิธีการก่อสร้างที่ได้รับความนิยมแพร่หลาย เนื่องจากใช้วัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก การก่อสร้างไม่ซับซ้อน และมีช่างที่มีฝีมืออยู่เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้



รูปที่ 6-2 ผนังก่ออิฐฉาบปูน

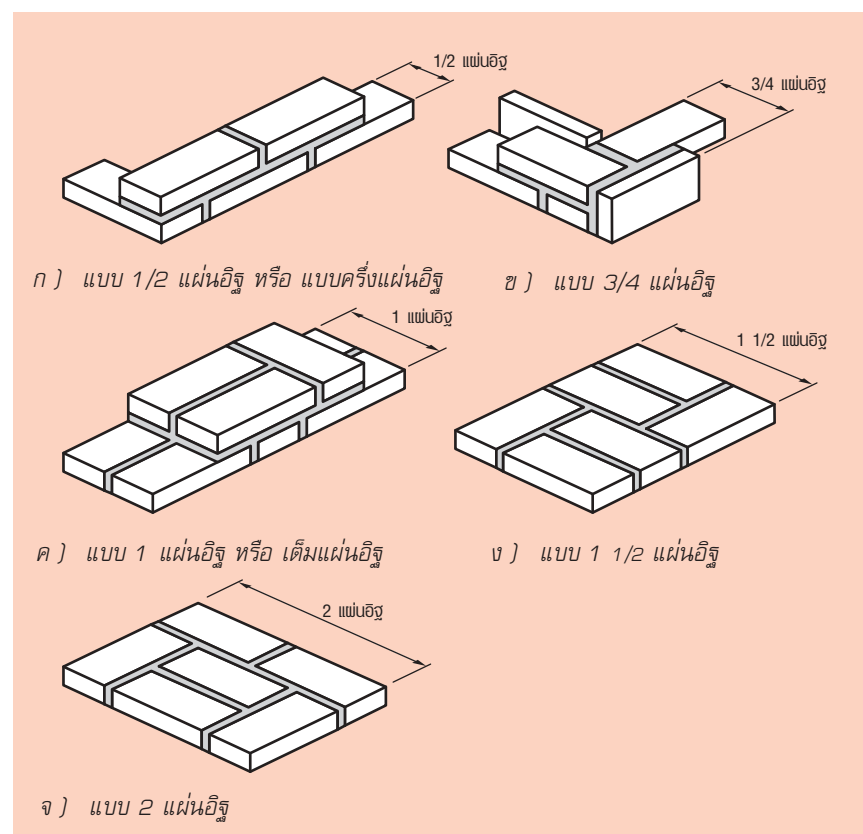


การทำงานก่อให้ได้ดีนั้น จะต้องประกอบด้วยปัจจัยต่าง ๆ หลายประการ ดังจะกล่าวไว้ในหัวข้อถัด ๆ ไป

การก่ออิฐ (Bricklaying) เป็นการจัดหรือการเรียงแผ่นอิฐสลับกันในรูปแบบต่าง ๆ อย่างมีระเบียบ เพื่อให้เกิดรูปทรงตามต้องการ นอกจากนั้น จะต้องมีการยึดประสานกันระหว่างแผ่นอิฐ เพื่อให้ผนังหรือสิ่งที่มีโครงสร้างแข็งแรง คงทนอยู่ได้ และสามารถรับน้ำหนักของตัวเองและน้ำหนักอื่น ๆ ที่วางทับได้โดยไม่เกิดการเสียหรือเกิดการพังทลาย

รูปแบบของการก่ออิฐ มีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน โดยแบ่งตามความหนาของผนังได้ 5 ประเภท ดัง **รูปที่ 6-3** ได้แก่

1. แบบ $1/2$ แผ่นอิฐ หรือแบบครึ่งแผ่นอิฐ
2. แบบ $3/4$ แผ่นอิฐ
3. แบบ 1 แผ่นอิฐ หรือแบบเต็มแผ่นอิฐ
4. แบบ $1 \frac{1}{2}$ แผ่นอิฐ
5. แบบ 2 แผ่นอิฐ



รูปที่ 6-3 รูปแบบของการก่ออิฐ

วงการก่อสร้างไทย นิยมก่อผนังแบบครึ่งแผ่นอิฐ ซึ่งเป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับงานผนังหรือกำแพงที่รับน้ำหนักไม่มาก รองลงมา คือ การก่อเต็มแผ่นอิฐ ซึ่งเป็นรูปแบบที่สามารถรับน้ำหนักหรือแรงภายนอกได้มากกว่า

มักพบกันเสมอว่าผนังที่ก่อโย้ไปโย้มา รอยปูนก่อไม่เท่ากัน และยังมีลักษณะต่าง ๆ ของการก่อผนังที่ไม่ถูกวิธีอีกเป็นอันมาก ผู้ตรวจคุมงานส่วนมากจะอนุโลมกันเรื่อยมา เพราะการก่ออิฐแล้วฉาบแก้ก็คงไม่เห็นความบกพร่อง การฉาบปูนแก้ผนังที่เอียงนั้น เป็นผลทำให้ผนังแตกร้าวได้ง่ายกว่าการก่ออย่างถูกต้องหลักเป็นอันมาก นอกจากนี้ยังสิ้นเปลืองปูนก่อมากกว่าอีกด้วย

งานก่อและงานฉาบมีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน แม้ว่าช่างปูนส่วนใหญ่มักให้ความสำคัญกับงานฉาบมากกว่า และช่างฉาบยังได้เงินค่าจ้างมากกว่าช่างก่ออีกด้วย ซึ่งเป็นความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่สวยงาม จะต้องเริ่มจากงานก่อที่ดีที่เปรียบเสมือนกล้ามเนื้อและกระดูก ส่วนงานฉาบเปรียบได้กับผิวหนัง ทั้งนี้เพราะผิวของผนังจากงานฉาบจะปรากฏให้เห็นได้จากภายนอก ถ้าทำงานก่อไว้ไม่ดีตั้งแต่แรก จะใช้งานฉาบมาปิดอาจจะทำให้ไม่ได้ทั้งหมดส่วนการฉาบปูนถ้าทำไม่ถูกวิธีก็จะก่อให้เกิดปัญหาตามมาเช่นเดียวกัน

6.3 วัสดุที่ใช้ในงานก่อ

1. ปูนซีเมนต์

ประเภทของปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานก่อโดยทั่วไป คือ ปูนซีเมนต์ผสม เช่น **ปูนตราเสือ**, และ **ปูนตราแรด** เป็นต้น เป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพสอดคล้องตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ผสม หรือ มอก. 80 แต่ไม่นิยมใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำปูนก่อ เนื่องจากมีระยะเวลาแห้งตัว (Setting Time) เร็วเกินไป

คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ที่ดีสำหรับงานก่อ จะต้องมีความเหนียวนุ่ม เวลาบั่นจะจับตัวเป็นก้อนไม่แห้งแตก ยึดเกาะก้อนอิฐได้ดี แต่ไม่เหนียวติดเกรียง ไม่ร่วงหล่นในขณะเคาะอิฐให้ได้ระดับ หรือยุบตัวได้ง่าย มีระยะเวลาการแห้งตัวพอเหมาะ เมื่อแข็งตัวจะได้ผนังที่แข็งแรง มีการหดตัวน้อย จึงลดโอกาสเกิด การแตกร้าวได้

ปูนซีเมนต์ผสม โดยทั่วไป มีน้ำหนักถุงละ 50 กิโลกรัม สามารถก่อพื้นที่ประมาณ 3 - 4 ตารางเมตร (ระยะห่างระหว่างอิฐประมาณ 1.5 เซนติเมตร)

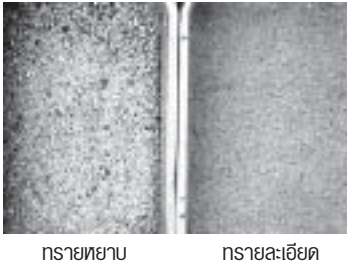
ปูนซีเมนต์ที่ดี นอกจากจะต้องผลิตจากบริษัทผู้ผลิตที่ได้มาตรฐานแล้ว คุณภาพปูนซีเมนต์ในขณะนำมาใช้งาน ก็ต้องอยู่ในสภาพที่ดีด้วย เนื่องจากปูนซีเมนต์มีอายุการกองเก็บ ปูนซีเมนต์ที่เก็บไว้นาน เมื่อถูกความชื้นคุณภาพจะลดลง บางส่วนอาจจับตัวเป็นเม็ด การนำมาใช้ จะต้องร่อนเอาส่วนที่เป็นเม็ดออกเสียก่อน หรือถ้าชื้นมากจนแข็งเป็นก้อน ปิ่ไม่แตกก็ไม่ควรนำมาใช้ ดังนั้น การเก็บรักษาปูนซีเมนต์จึงต้องพยายามเก็บให้ถูกความชื้นน้อยที่สุด ควรทำการกองเก็บปูนซีเมนต์ไว้ในสถานที่ที่สามารถป้องกันน้ำหรือความชื้นได้ เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์จับตัวเป็นก้อนก่อนนำไปใช้งาน

2. หวาย

หวายที่ใช้สำหรับงานก่อ คือ **หวายหยาบ** ซึ่งควรมีคุณภาพสอดคล้องตาม มอก. 598 กล่าวคือ ควรเป็นหวายน้ำจืดที่มีขนาดลอดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 4.75



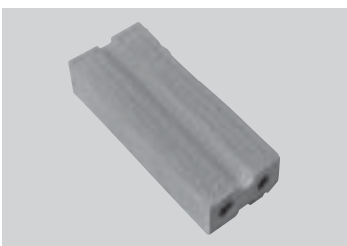
รูปที่ 6-4 ปูนซีเมนต์ผสมเป็นประเภทปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานก่อ



รูปที่ 6-5 ควรเลือกใช้ทรายหยาบ ที่มีคุณภาพได้มาตรฐานสำหรับงานก่อ



รูปที่ 6-6 ปูนก่อสำเร็จรูป เช่น ปูนก่อตราเสือคู่ และปูนก่ออิฐมวลเบาตราเสือคู่



รูปที่ 6-7 ตัวอย่างก้อนอิฐที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน มีเหลี่ยมมุมสมบูรณ์

มิลลิเมตร โดยทำการร่อนเอากรวดเม็ดใหญ่ ๆ ออกก่อน มีลักษณะแข็ง แน่น ทนทาน เป็นแ่ง มีเหลี่ยมมุม เม็ดทรายที่เป็นแ่ง มีเหลี่ยมมุม จะช่วยเพิ่มการยึดเกาะและทำให้ได้กำลังที่ดีกว่า ไม่ควรมีลักษณะแบนหรือยาว หรือพรุน ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ขนาดของเม็ดทรายควรมีหลายขนาดคละกัน สะอาด ไม่มีส่วนฝุ่นหรือขี้พิชปนอยู่ ไม่มีสารอินทรีย์ เช่น เมล็ดพืช ชากพืช ชากสัตว์ ฝุ่น ดิน เปลือกหอย หรือสารเคมีเจือปน ทั้งยังจะต้องไม่มีสภาพเป็นกรด ต่าง หรือเกลือ ปนอยู่ในเนื้อทราย

การเลือกใช้ทรายที่มีคุณภาพไม่เหมาะสมสำหรับงานก่อ เช่น การใช้ทรายที่มีความละเอียดมาก จะทำให้ต้องใช้ใช้น้ำมาก เพราะทรายละเอียดมีพื้นที่ผิวมากกว่า ผลที่ตามมาคือ ปูนก่อจะหดตัวมาก และอาจเกิดการแตกร้าวได้ นอกจากนี้ ปูนก่อที่ใช้ทรายละเอียด ยังต้องใช้ปูนซีเมนต์มากขึ้น เพื่อให้กำลังเท่าเดิม จึงไม่ประหยัด หรือกรณีใช้ทรายที่สกปรกมากเกินไป ทำให้เนื้อปูนซีเมนต์ยึดเกาะเม็ดทรายได้ไม่ดีเท่าที่ควร และส่วนผสมปูนก่อมีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ปูนก่อมีความแข็งแรงลดลง

3. ปูนก่อสำเร็จรูป

ปัญหาทรายมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน ในเรื่องขนาดเม็ดที่ไม่เหมาะสม และมักจะมีสิ่งสกปรกหรือสารเคมีเจือปนอยู่ และยังมีปัญหาที่เกิดจากการผสมที่ไม่ได้สัดส่วน ซึ่งสัดส่วนการผสมปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับความชำนาญของช่างแต่ละคนซึ่งใช้สัดส่วนการผสมที่ไม่เหมือนกัน ปัญหาเหล่านี้จะส่งผลต่อคุณภาพของงานได้ทั้งสิ้น แต่ปัญหาดังกล่าวสามารถป้องกันได้โดยใช้ปูนก่อสำเร็จรูป

ปูนก่อสำเร็จรูป เช่น **ปูนก่อตราเสือคู่** และ **ปูนก่ออิฐมวลเบาตราเสือคู่** คือ ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ หินบดละเอียด และสารเคมีพิเศษ ตามสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับงานก่ออิฐ โดยการควบคุมสัดส่วนการผสมและคุณภาพของวัตถุดิบให้มีความสม่ำเสมอ จึงได้เนื้อปูนที่มีความเหนียว มีแรงยึดเกาะสูง ทำให้ผนังมีความแข็งแรงคงทน และมีความสะดวกในการใช้งาน เพียงฉีกถุงผสมน้ำ ก็สามารถใช้งานได้ทันที โดยไม่ต้องผสมทราย หรือสารเคมีเพิ่มเติม จึงสามารถป้องกันปัญหาทรายมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐานและการผสมที่ไม่ถูกสัดส่วนได้เป็นอย่างดีอีกทั้งการบรรจุถุง ยังช่วยลดปัญหาการสูญเสียเนื่องจากการกองเก็บและการขนย้าย และยังใช้พื้นที่ในการกองเก็บหน้างานน้อย จึงช่วยแก้ปัญหาพื้นที่กองเก็บวัสดุในหน่วยงานที่มีพื้นที่ก่อสร้างจำกัดได้อีกด้วย

ปูนก่อสำเร็จรูป โดยทั่วไป มีน้ำหนักถุงละ 50 กิโลกรัม สามารถก่อได้พื้นที่ประมาณ 1 - 3 ตารางเมตร (ขึ้นอยู่กับชนิดและรูปแบบของการก่ออิฐ)

4. อิฐ

ควรเลือกอิฐที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน เช่น อิฐมอญหรืออิฐก่อสร้างสามัญ ควรมียุทธศาสตร์สอดคล้องตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ หรือ มอก. 77 เป็นต้น กล่าวคือ ต้องมีความแข็งแรงเหมาะสมกับงาน มีเหลี่ยมมุมสมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกร้าว มีขนาดใกล้เคียงกัน ไม่บิดงอ

6.4 อัตราส่วนผสมของปูนก่อ

ในกรณีผสมปูนก่อขึ้นใช้เอง เพื่อให้ได้ความต้านทานแรงอัดตาม ตารางที่ 6-1 ปูนก่อต้องประกอบด้วยส่วนผสมของวัสดุประเภทปูนซีเมนต์กับทรายหยาบโดยการวัดปริมาตร การผสม ความอุ่มน้ำ โดยมีอัตราส่วนของวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ผสมตามที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ 6-3 อัตราส่วนผสมของปูนก่อ ขึ้นอยู่กับชนิดของการใช้งานว่าเป็นงานก่อภายในหรือภายนอก ต้องสัมผัสกับดินฟ้าอากาศโดยตรงหรือไม่ ต้องการงานฝีมือละเอียดแค่ไหน และการกำหนดความหนาของปูนฉาบ

ชนิด	ปูนซีเมนต์ผสม	ปูนขาว	ทรายหยาบชั้น ไม่อัดแน่น
05	1	1/4	ไม่น้อยกว่า 2 1/4 แก้ว และไม่น้อยกว่า 3 แก้ว ของผลบวกของ ปริมาตรปูนซีเมนต์ และปูนขาวรวมกัน
25	1	มากกว่า 1/4 ถึง 1/2	
50	1	มากกว่า 1/2 ถึง 1 1/4	
125	1	มากกว่า 1 1/4 ถึง 2 1/2	
170	1	มากกว่า 2 1/2 ถึง 4	

ตารางที่ 6-3 อัตราส่วนผสมของปูนก่อโดยปริมาตร

อัตราส่วนผสมของปูนก่อโดยปริมาตร ควรใช้ตามที่บริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์แนะนำ ที่นิยมใช้กัน คือ อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย ประมาณ 1 : 2.5 ถึง 1 : 3

อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนผสมของปูนก่อที่เหมาะสมนี้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับประเภทและตราของปูนซีเมนต์ ยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของทรายที่ใช้เป็นสำคัญด้วย

6.5 การเตรียมงานก่อ

1. วางแผนการทำงาน

การวางแผนการทำงานเป็นเรื่องสำคัญที่จะส่งผลถึงความเรียบร้อยและสมบูรณ์ในงานก่อ เช่น ควรวางแผนการก่อให้สอดคล้องกับระยะเวลาการทำงานที่มีอยู่ ให้เสร็จสมบูรณ์ทีละส่วน สำหรับงานก่อกลางแจ้ง หากหลีกเลี่ยงได้ไม่ควรทำงานในขณะที่มีแดดจัด เพราะปูนก่ออาจจะแห้งเร็วเกินไป ทำให้ผนังไม่แข็งแรงเท่าที่ควร หลีกเลี่ยงการทำงานในกรณีที่โครงสร้างได้รับแรงสั่นสะเทือน เช่น มีการขุดเจาะอยู่บริเวณใกล้เคียง เพราะอาจเกิดรอยแตกร้าวภายในผนัง เป็นสาเหตุของการแตกร้าวที่ผิวปูนฉาบได้ในภายหลัง

2. การเตรียมสถานที่

ก่อนการทำงาน ควรทำความสะอาดสถานที่ให้เรียบร้อย ไม่ควรมีเศษขยะ เศษฝุ่น หรือเศษวัสดุอื่นใดอยู่ในบริเวณที่ทำงาน ตรวจสอบระยะและแนวที่จะทำการก่อว่าตรงตามแบบ ได้แนวทั้งตั้งและฉากหรือไม่



3. การเตรียมวัสดุ

วัสดุที่ใช้ทำปูนก่อประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ และวัสดุที่ใช้ก่อ เช่น อิฐมอดู, คอนกรีตบล็อก, หรืออื่น ๆ ควรวางกองเก็บให้เป็นระเบียบ เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน การขนย้ายอิฐจากสถานที่กองเก็บไปยังหน้างาน ควรขนย้ายด้วยความระมัดระวัง ไม่ให้อิฐแตกหรือชำรุดเสียหาย

4. การเตรียมอุปกรณ์

เช่น กระบะผสมปูน, จอบผสม, ถังน้ำ, เกรียงฉาบ, ไม้สามเหลี่ยม, เกรียงใบโพธิ์, ตะปู, เอ็น, บักเต้า, สายยางจับระดับ, และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ

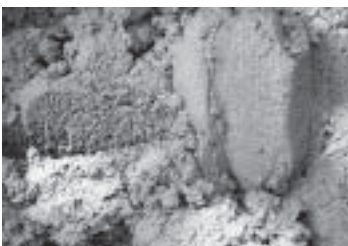


ก) ลักษณะเนื้อปูนก่อที่แห้งเกินไป



ข) ลักษณะเนื้อปูนก่อที่มีการยึดเกาะก่อนอิฐได้ไม่ดี

รูปที่ 6-8 ลักษณะเนื้อปูนก่อที่แห้งเกินไป



ก) ลักษณะเนื้อปูนก่อที่มีความชื้นเหมาะสม



ข) ลักษณะเนื้อปูนก่อที่มีความเหนียวยึดเกาะก่อนอิฐดี ไม่ร่วงหล่นในขณะเคาะอิฐให้ไต่ระดับ

รูปที่ 6-9 ลักษณะเนื้อปูนก่อที่ดี

6.6 การผสมปูนก่อ

การผสมปูน ทั้งปูนก่อและปูนฉาบ ในประเทศไทย ช่างปูนส่วนใหญ่จะผสมโดยกะสัดส่วนตามปริมาตร วิธีการผสมของช่างแต่ละคนก็มักจะแตกต่างกันออกไปตามประสบการณ์, วัสดุและอุปกรณ์ที่มี, และสภาพหน้างาน เช่น ใช้ปูนกี่หรือใช้ถังพลาสติกในการตักทราย ใช้ถังเปลงหรือกระบะที่ก่อกขึ้นมาเพื่อการผสมปูน ทำให้ได้ปูนก่อที่มีอัตราส่วนผสมและคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยช่างปูนจะพิจารณาสภาพเนื้อปูน และความชื้นเหลว ภายหลังการผสม แล้วจึงปรับเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ ทราย หรือน้ำ เพื่อให้ได้สภาพปูนก่อที่ต้องการต่อไป

ลักษณะเนื้อปูนก่อที่ดี เมื่อผสมเสร็จ จะต้องมีความชื้นเหลวเหมาะสม มีความเหนียวนุ่ม เวลาปั้นจะจับตัวเป็นก้อนไม่แห้งแตก มีความเหนียวยึดเกาะก่อนอิฐดี แต่ไม่เหนียวติดเกรียง ไม่ร่วงหล่นในขณะเคาะอิฐให้ไต่ระดับ หรือยุบตัวได้ง่าย

ปูนก่อที่ผสมแล้ว ควรใช้ให้หมดโดยเร็ว ไม่ควรทิ้งไว้เกินครึ่งชั่วโมง เพราะปูนก่อจะเริ่มแห้งและจับตัว ทำให้คุณสมบัติในการใช้งานด้อยลงไป หากจำเป็นต้องทำการปรับส่วนผสมและผสมซ้ำอีกครั้ง

เนื้อปูนก่อที่แห้งเกินไป ทำให้การยึดเกาะไม่ดี เนื่องจากมีส่วนเหลวที่จะไปแทรกตัวอยู่ในอิฐน้อย และยังปรับแต่งตำแหน่งก้อนอิฐให้ได้แนวตั้งและแนวราบได้ยาก ทำให้ผนังก่อไม่ได้แนว โยคลอนง่าย จึงต้องทำการปรับแก้ความชื้นเหลวของเนื้อปูนก่อโดยการเพิ่มปริมาณน้ำ และผสมซ้ำ จนปูนก่อมีความชื้นเหลวที่พอเหมาะแก่การใช้งาน

เนื้อปูนก่อที่เหลวเกินไป ทำให้การยึดเกาะไม่ดี ปั้นเป็นก้อนได้ยาก ทำให้ทำงานได้ช้า และยังมีการร่วงหล่นขณะก่อมาก หากทำการก่อผนังขึ้นไปสูง ๆ จะทำให้ปูนก่อชั้นล่างทะลักออกมา เนื่องจากยังไม่สามารถรับน้ำหนักได้ จึงต้องทำการปรับแก้ความชื้นเหลวของเนื้อปูนก่อโดยการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ หรือทราย และผสมซ้ำ จนปูนก่อมีความชื้นเหลวที่พอเหมาะแก่การใช้งาน

6.7 เทคนิคการก่ออิฐ

1. การรดน้ำหรือการแช่อิฐในน้ำให้อิ่มตัว ก่อนนำไปใช้ก่อ

ก่อนทำการก่อทุกครั้ง จะต้องนำอิฐแช่น้ำหรือรดน้ำให้อิฐดูดน้ำจนอิ่มตัว แล้วนำไปผึ่งให้หมาด ๆ ก่อนนำไปใช้ เนื่องจากอิฐแต่ละประเภท ส่วนใหญ่จะมีรูพรุนอยู่ในเนื้อวัสดุ และจะดูดซึมน้ำจากปูนก่อในขณะที่ปูนก่อยังไม่แข็งตัว ทำให้มีน้ำในปูนก่อลดลง และอาจหดตัวมากจนแตกร่วนได้ เมื่อปูนก่อแข็งตัว จะได้ผนังที่ไม่แข็งแรง โยกลลอน โดยเฉพาะอิฐเมื่อเผาแล้วจะแห้งมาก ถ้านำไปใช้ในการก่อทันที อิฐจะดูดน้ำจากปูนก่ออย่างรวดเร็ว ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งของการรดน้ำหรือแช่อิฐในน้ำจนอิ่มตัวก่อน คือ ทำให้ผิวอิฐสะอาด ปูนก่อจึงสามารถยึดติดกับอิฐได้ดียิ่งขึ้น

2. การชิงเอ็นทั้งแนวนอนและแนวตั้ง

ควรทำการชิงเอ็น หรือติดבקเด้า เพื่อแสดงแนวมุมที่จะก่อ

3. การเริ่มก่อและการเรียงอิฐ

ให้เริ่มก่อจากริมทั้งสองข้างของแนวก่อ ทำเป็นชั้นบันได 3 - 5 ชั้น และเรียงอิฐให้มีการสับหว่างกันในแต่ละชั้นตามแนวที่ชิงเอ็นไว้ ใ้รอยต่อไม่ตรงกันในแต่ละชั้นที่ติดกัน เพื่อการยึดประสานกันระหว่างแผ่นอิฐ และเพื่อการรับน้ำหนักของผนังก่ออิฐเองด้วย

4. ความหนาของชั้นปูนก่อ

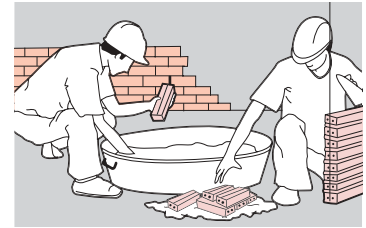
ต้องก่อให้มีความหนาประมาณ 1.5 - 2.0 เซนติเมตร เพราะแนวปูนก่อจะทำหน้าที่ยึดเกาะอิฐทั้งแผ่นบน แผ่นล่าง แผ่นซ้าย และแผ่นขวา หากก่อบางเกินไป แรงยึดเกาะอิฐก็จะมีไม่เพียงพอ ทำให้ผนังไม่แข็งแรง แต่หากก่อหนาเกินไป ก็เป็นการสิ้นเปลืองวัสดุ

ดังนั้น ในการใส่ปูนก่อ ควรจะใส่ให้หนากว่าแนวปูนก่อที่ต้องการเล็กน้อย เมื่อกระทุ้งอิฐแล้วจะได้ความหนาของชั้นปูนก่อพอดี และยังทำให้แผ่นอิฐกระชับกับปูนก่อด้วย ไม่ควรเคาะหรือกระทุ้งอิฐแรง ๆ เพราะอาจทำให้อิฐหักหรือแตกได้ ทั้งยังเป็นสาเหตุที่ทำให้ปูนก่อกับอิฐยึดติดกันไม่สนิทอีกด้วย ส่วนปูนก่อที่ทะลักออกมา ให้ใช้เกรียงก่ออิฐปาดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

5. การตรวจสอบแนวและระดับในขณะก่อ

ในการก่ออิฐต้องทำการจับตึง ฉาก และความหนา ให้ได้ตามขนาดที่ต้องการตลอดเวลา โดยให้จับตึง 1 ครั้ง เมื่อก่อครบ 3 - 5 ชั้น และถ้าก่ออิฐมอดสูงเกิน 1 เมตรขึ้นไป ให้จับระดับน้ำทุกแถวที่เกิน 1 เมตร หากก่ออิฐบล็อก ควรทำการตรวจสอบระดับน้ำทุก ๆ แถวตั้งแต่แรก การเคาะปรับระดับควรใช้ค้อนตุ้มเคาะ

เมื่ออิฐที่ก่อไม่ได้แนว หรือไม่ได้ระดับ ต้องทำการปรับแต่งให้ได้ระยะแต่หากทำการปรับแต่งหลังจากที่ปูนก่อแข็งตัวไปแล้ว หรือหลังก่อไปแล้วประมาณ 30 นาที จะเป็นการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างปูนก่อกับอิฐให้สูญเสียไป ทำให้ผนังไม่แข็งแรง



รูปที่ 6-10 ควรแช่อิฐในน้ำจนอิ่มตัว แล้วผึ่งให้หมาด ๆ ก่อนนำไปใช้งาน เพื่อป้องกันอิฐดูดน้ำจากปูนก่อ



ก) การชิงเอ็นในแนวนอน

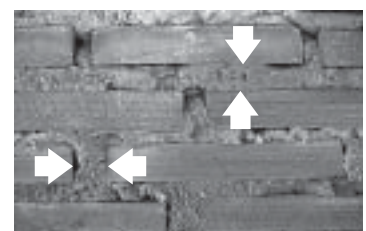


ข) การชิงเอ็นในแนวตั้ง

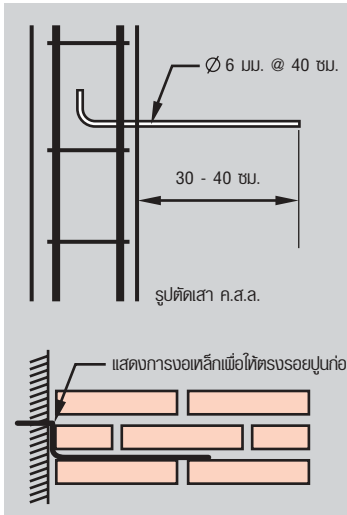
รูปที่ 6-11 การชิงเอ็น



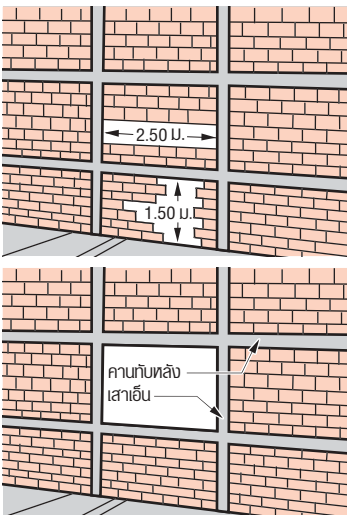
รูปที่ 6-12 การก่ออิฐ ต้องวางอิฐให้มีการสับหว่างกันในแต่ละชั้น ใ้รอยต่อไม่ตรงกันในแต่ละชั้นที่ติดกัน



รูปที่ 6-13 การก่ออิฐในแต่ละชั้น ต้องก่อให้หนาประมาณ 1.5 - 2.0 เซนติเมตร



รูปที่ 6-14 การเสียบเหล็กหนวดกุ้งในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก และผนังอิฐ



รูปที่ 6-15 เสาเอ็นและคานทับหลัง



รูปที่ 6-16 ผนังแตกร้าวบริเวณขอบเสาในแนวตั้ง เนื่องจากการไม่ได้เสียบหรือเสียบเหล็กหนวดกุ้งไม่ถูกวิธี หรือไม่ได้ทำเสาเอ็น

6. การเสียบเหล็กกับผนังก่ออิฐ

แนวขอบผนังที่ติดกับเสา จะต้องเสียบเหล็กหนวดกุ้งยื่นจากขอบเสาเข้ามาเสียบในผนังก่ออิฐ

- การก่ออิฐมอดูหรืออิฐก่อสร้างสามัญ ระหว่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้องเสียบเหล็กหนวดกุ้งขนาด 6 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 50 เซนติเมตร เข้ากับเสา ให้มีส่วนยื่นออกมาจากเสาประมาณ 30 - 40 เซนติเมตร ทุกช่วงระยะห่างประมาณ 40 - 50 เซนติเมตร แต่ไม่เกิน 60 เซนติเมตร ในขณะทำการหล่อเสา เพื่อความแข็งแรงในการเกาะยึดผนังหรือกำแพงอิฐเข้ากับเสา ในกรณีเหล็กไม่ตรงกับแนวปูนก่อ ให้ใช้วิธีตัดเหล็กให้หลบลงมาหรือขึ้นไปให้ตรงแนวปูนก่อ
- การก่ออิฐบล็อกหรือคอนกรีตบล็อก อาจใช้เหล็กเส้นกลม แต่ต้องเสริมแรงทั้งแนวตั้งและแนวนอน สำหรับการเสริมเหล็กในแนวตั้งไม่ควรสูงเกิน 1.2 เมตร เพราะจะไม่สะดวกในการยกอิฐบล็อกขึ้นสวม ในกรณีที่ต้องการก่อสูงกว่านั้นให้ใช้วิธีตามเหล็กและผูกกันเป็นเปลาะ ๆ ไป ส่วนการเสริมเหล็กในแนวนอนให้วางเหล็กไปตามบล็อกที่ต่อเป็นคาน และเชื่อมต่อเข้ากับเหล็กเสริมในแนวตั้ง ช่องบล็อกที่ใส่เหล็กเสริมทั้งหมดจะต้องเทคอนกรีตหรือปูนก่อทับให้เต็มช่อง

7. การทำเสาเอ็นและคานทับหลัง

การก่ออิฐแบบ 1/2 แผ่น ควรมีเสาเอ็น 1 ต้น ที่ความกว้างอย่างน้อยทุก 2.5 เมตร อาจเป็นเสาคอนกรีตสำเร็จรูป หรือ เสาก่ออิฐก็ได้ และ ถ้ามีความสูงเกินกว่า 1.5 เมตร ก็ควรมีคานทับหลังด้วย โดยขนาดของเสาเอ็นหรือคานทับหลังจะต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 15 เซนติเมตร หนาเท่ากับความหนาของผนังที่ก่อ เหล็กยื่นของเสาเอ็นจะต้องฝังลึกในพื้นหรือคาน อาจทำได้โดยเชื่อมเหล็กจากพื้นหรือคานเตรียมไว้ก่อน หากไม่ได้เตรียมไว้ ให้เจาะเสียบเหล็กลึกไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตร แล้วยึดด้วยอีพอกซี

เสาเอ็นจะทำหน้าที่ช่วยยึดกำแพงอิฐไว้ไม่ให้พังปลงมา สำหรับผนังที่อยู่ในบริเวณที่มีการขนย้ายสิ่งของหนัก ๆ หรือมีรถหนักวิ่งผ่านบ่อย ๆ ยิ่งต้องระวังและจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเสริมเสาเอ็น

คานทับหลังเป็นคานที่วางพาดข้ามช่องประตู-หน้าต่าง ทำหน้าที่รับน้ำหนักที่อยู่เหนือขึ้นไป และถ่ายน้ำหนักไปให้กับผนังอีกที เพื่อป้องกันไม่ให้วงกบประตู-หน้าต่าง รับน้ำหนักที่อยู่เหนือขึ้นไป ซึ่งจะทำให้วงกบเสียรูปได้ คานทับหลังต้องยาวเลยขอบช่องประตู-หน้าต่าง ไม่ต่ำกว่า 20 เซนติเมตร

8. การก่อใต้ท้องคาน

ผนังที่ก่อชนท้องคาน จะต้องเว้นช่องไว้ประมาณ 10 เซนติเมตร และทิ้งไว้จนปูนก่อแข็งตัวเสียก่อน ประมาณ 1 - 2 วัน เพื่อให้ผนังที่ก่อไว้แล้วทรุดตัว หากก่อผนังรวดเดียวจนชนท้องคานเลย อาจทำให้เกิดรอยแยกหรือรอยแตก ร้าวในบริเวณใต้ท้องคาน ทำให้น้ำรั่วซึมเข้ามาได้ในภายหลัง เนื่องจากขณะปูนก่อแข็งตัว จะยุบลงมาเล็กน้อย

การก่อส่วนที่อยู่ใต้คาน ทำได้โดยการก่ออิฐแทรกเข้าไปให้เต็ม หรือการอุดด้วยปูนก่อ หากเป็นการก่อด้วยอิฐมอญต้องวางแผนไว้ตั้งแต่แรก เพื่อพิจารณาว่าควรก่อไว้ก่อนสูงถึงแค่ไหน จากนั้นจึงก่อเสริมโดยการเอียงอิฐทำมุม 30 - 45 องศา และใช้ปูนก่ออุดให้เต็ม เพื่อให้ก่อได้ชิดกับคานพอดี จึงจะก่ออิฐแถวสุดท้ายได้

9. การก่ออิฐขึ้นเป็นบัวได้กรอบหน้าต่าง

การก่ออิฐแผ่นแรกจะใส่ปูนก่อให้มากกว่าปกติเล็กน้อย และวางแผ่นอิฐด้านบัวเผยขึ้นเล็กน้อย โดยกะประมาณว่าเมื่อเวลาก่อชั้นที่สองแล้วจะกดให้อิฐชั้นแรกให้ระดับพอดี

10. การบ่มชื้นผนังให้เพียงพอ

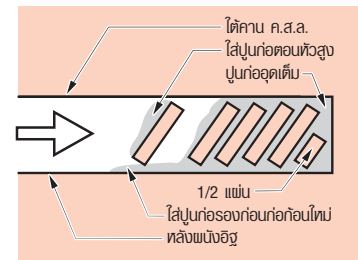
ขั้นตอนนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากสาเหตุสำคัญของปัญหาการแตกร้าวส่วนหนึ่งมาจากการสูญเสียน้ำเร็วเกินไปของปูนก่อ ในขณะที่ปูนก่อยังไม่แข็งตัว

หลังจากก่อผนังอิฐเสร็จแล้วประมาณ 24 ชั่วโมง หรือเมื่อปูนก่อเริ่มแห้งแล้ว ควรทำการบ่ม โดยการรดน้ำให้ผนังชุ่มชื้นอยู่อย่างสม่ำเสมออย่างน้อย 7 วัน ทั้งนี้การรดน้ำเป็นการช่วยให้ปูนก่อพัฒนาความแข็งแรงอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้ได้ผนังที่แข็งแรงด้วย

ผนังที่ก่อใหม่ จะยังไม่สามารถรับแรงได้ในทันที ดังนั้น ในช่วงที่ปูนก่อกำลังพัฒนากำลังอัดและการยึดเหนี่ยว ผนังจะต้องไม่ถูกกระแทกกระเทือน หรือรับน้ำหนักเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 3 วัน หลังจากก่อเสร็จ

11. การก่ออิฐต่อเติมจากที่ก่อไว้แล้ว ควรรดน้ำผนังอิฐให้อิ่มตัวก่อน

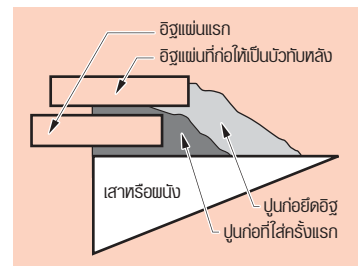
ผนังอิฐที่ก่อทิ้งไว้นานหลายวัน จะมีฝุ่นเกาะ ต้องรดน้ำเพื่อทำความสะอาด และให้อิฐเดิมได้ดูดน้ำจนอิ่มตัวก่อนด้วย หรือหากอิฐก้อนเดิมจะหลุดออกแล้ว ก็ให้ทำสักรีดออกและทำการก่อใหม่ดีกว่า การรดน้ำอิฐให้รดอย่างน้อย 2 ครั้ง และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที ให้หมาด ๆ ก่อนทำการก่อต่อไป



รูปที่ 6-17 วิธีการก่ออิฐบริเวณใต้ท้องคาน



รูปที่ 6-18 ผนังแตกร้าวบริเวณใต้ท้องคาน เนื่องจากการก่ออิฐไม่ถูกวิธี



รูปที่ 6-19 วิธีการก่ออิฐขึ้นเป็นบัวได้กรอบหน้าต่าง



รูปที่ 6-20 เมื่อผิวปูนก่อแห้งแล้ว ควรทำการบ่มอย่างน้อย 7 วัน



มาตรฐานอ้างอิง

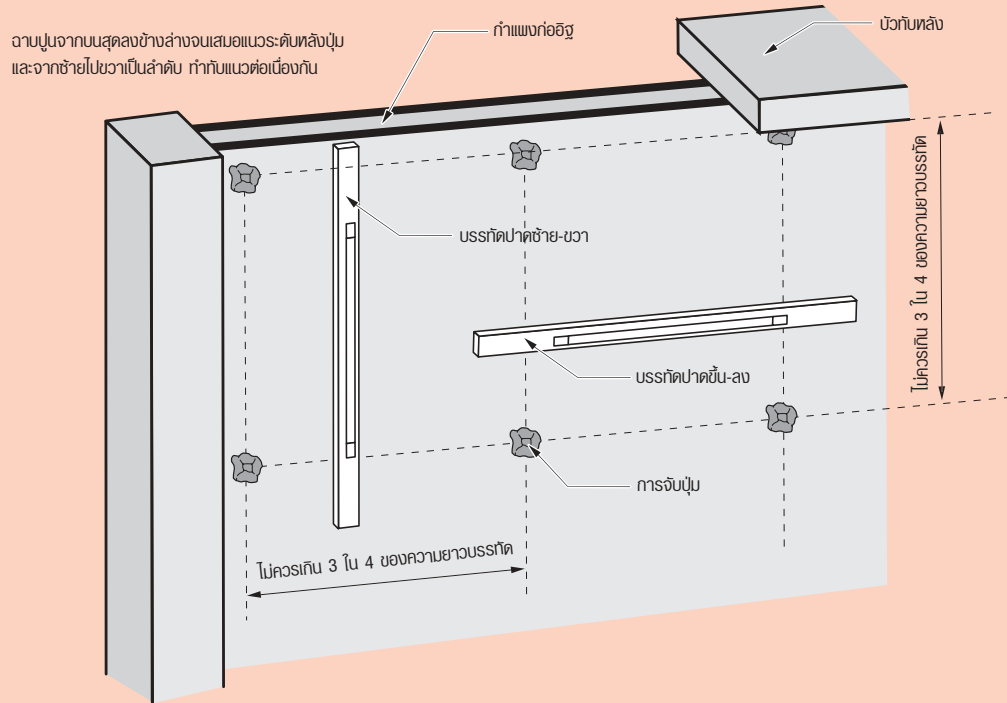
- มอก. 77-2531 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ
- มอก. 80-2517 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ผสม
- มอก. 598-2528 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนก่อ
- ASTM C 91-03 : Specification for Masonry Cement

เอกสารอ้างอิง

- 1 เอกสารวิชาการของ บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, 2547.
- 2 ประณีต กุลประสูติ, “เทคนิคงานปูน-คอนกรีต”, 2535.
- 3 พิกพ สุนทรสมัย, “วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.

เทคนิคงานฉาบ

บทที่



รูปที่ 7-1 เทคนิคงานฉาบ

บทคัดย่อ

งานก่อสร้างผนังก่ออิฐฉาบปูน แบ่งได้เป็น 2 งานหลัก ได้แก่ งานก่อ และงานฉาบ โดยเนื้อหาในบทนี้ จะครอบคลุมเฉพาะงานฉาบเท่านั้น

การฉาบปูน หมายถึง การตกแต่งผิวผนังอิฐให้เกิดความเรียบร้อยและสวยงาม เนื่องจากการฉาบปูนไม่เพียงแต่จะทำให้ส่วนที่ฉาบเกิดความเรียบร้อยและได้ระดับดีเท่านั้น แต่ยังช่วยปกปิดรอยขรุขระต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการก่ออิฐ ก่อคอนกรีตบล็อก หรือหล่อคอนกรีตได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นการฉาบยังช่วยป้องกันอุณหภูมิและความชื้นระหว่างด้านนอกและด้านในของผนังได้ด้วย ทั้งยังสามารถป้องกันแสงแดดและฝน ตลอดจนช่วยแก้ไขสิ่งบกพร่องต่าง ๆ ของอาคารที่เกิดขึ้นขณะทำการก่อสร้างให้ถูกต้องและเรียบร้อยยิ่งขึ้นอีกด้วย

ปูนฉาบที่ดี จะต้องมีความชื้นเหลวพอเหมาะ เทนิยนุ่ม สีนโหลตี ยึดเกาะผนังอิฐได้ดี และอุ้มน้ำได้ดี มีระยะเวลาการแห้งตัวพอเหมาะ เมื่อแข็งตัวแล้ว จะต้องไม่ยัดหรือหดตัวมาก มีแรงยึดเหนี่ยวที่ดี และสามารถรับแรงอัด แรงเฉือน และแรงดึง ได้ดีพอสมควร

เทคนิคการฉาบปูน ได้แก่ การรดน้ำผนังอย่างเพียงพอและทั่วถึง ก่อนทำการฉาบ, การฉาบชั้นแรก, การปรับระดับโดยใช้บรรทัดปาดปูน, การฉาบชั้นที่สอง, การตีน้ำลงฟอง, การบ่มผิว, เทคนิคการฉาบบนผิววัสดุประเภทต่าง ๆ, การฉาบด้วยเครื่องพ่น, และการป้องกันและแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นกับผนังก่ออิฐฉาบปูน



7.1 ปูนฉาบ

ปูนฉาบ หมายถึง ของผสมที่ได้จากการผสมวัสดุประสานและทรายละเอียดเข้าด้วยกัน และอาจจะมีสารผสมเพิ่มหรือสีด้วยก็ได้ เมื่อจะใช้งานต้องนำไปผสมน้ำให้ข้นเหลวตามที่ต้องการ ใช้สำหรับฉาบผนังก่อหรือผิวคอนกรีตด้วยการฉาบชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้ เพื่อให้ได้ความหนาตามที่กำหนด

ปูนฉาบ ควรมีคุณภาพสอดคล้องตาม **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอ.ร.ต.ร. สำหรับฉาบ หรือ มอก. 1776** ซึ่งแบ่งปูนฉาบตามการใช้งานกับพื้นผิวที่จะฉาบ ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. **ประเภทฉาบผนังก่อ** ที่ก่อด้วยอิฐมวลเบาหรืออิฐก่อสร้างสามัญ หรือคอนกรีตบล็อกหรืออิฐบล็อก แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดทั่วไป สัญลักษณ์ MA-I ใช้สำหรับงานฉาบผนังก่อที่ใช้งานผิวหยาบ และชนิดละเอียด สัญลักษณ์ MA-II ใช้สำหรับงานฉาบผนังก่อที่ใช้งานผิวละเอียด
2. **ประเภทฉาบผิวคอนกรีต** สัญลักษณ์ CO ใช้สำหรับงานตกแต่งพื้นผิวคอนกรีต

ปูนฉาบที่ดี จะต้องประกอบด้วยคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีความข้นเหลวพอเหมาะ เทเหนียวนุ่ม สีนโหลดี ยึดเกาะผนังอิฐได้ดี และอุ้มน้ำได้ดี
2. มีระยะเวลาการแห้งตัวพอเหมาะ
3. เมื่อแข็งตัวแล้ว จะต้องไม่ยัดหรือหดตัวมาก จนเกิดการแตกร้าวขึ้นในปูนฉาบ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ หรือความชื้น
4. ต้องมีแรงยึดเหนี่ยวที่ดีพอในการยึดเกาะผนังอิฐ และสามารถรับแรงอัด แรงเฉือน และแรงดึง ได้ดีพอสมควร โดยจะต้องมีกำลังอัดของก้อนมอ.ร.ต.ร. รูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 5.0 เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน 3 ก้อน เฉลี่ย ไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดใน **ตารางที่ 7-1**

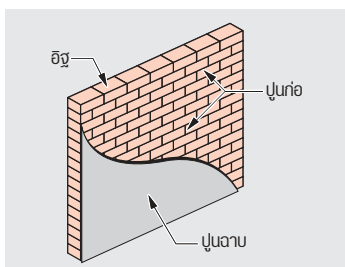
ประเภท	เกณฑ์ที่กำหนด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
ฉาบผนังก่อ	25
ฉาบผิวคอนกรีต	50

ตารางที่ 7-1 การแบ่งชนิดของปูนฉาบตามค่ากำลังอัด

7.2 งานฉาบ

งานฉาบ เป็นงานที่ต้องใช้ฝีมือและความชำนาญเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นงานที่มีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพงานอยู่มากมาย ทั้งคุณภาพของงานก่อ วัสดุที่ใช้ในงานฉาบ การผสมปูนฉาบ การเตรียมสถานที่ ขั้นตอนการทำงาน และการบ่มหลังงานฉาบ การทำงานฉาบให้ได้ดี ได้มาตรฐาน จำเป็นจะต้องปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ อย่างเคร่งครัด

การฉาบปูน หมายถึง การตกแต่งผิวผนังอิฐให้เกิดความเรียบร้อยและสวยงาม เนื่องจากการฉาบปูนไม่เพียงแต่จะทำให้ส่วนที่ฉาบเกิดความเรียบร้อยและได้ระดับดีเท่านั้น แต่ยังช่วยปกปิดรอยขรุขระต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการก่ออิฐ ก่อคอนกรีตบล็อก หรือหล่อคอนกรีตได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นการฉาบยังสามารถช่วยป้องกันอุณหภูมิและความชื้นระหว่างด้านนอกและด้านในของผนังได้ด้วย ทั้งยังสามารถป้องกันแสงแดดและฝน ตลอดจนช่วยแก้ไขสิ่งบกพร่องต่าง ๆ ของอาคารที่เกิดขึ้นขณะทำการก่อสร้างให้ถูกต้องและเรียบร้อยยิ่งขึ้นอีกด้วย



รูปที่ 7-2 ผนังก่ออิฐฉาบปูน

ปูนฉาบจะต้องมีคุณสมบัติติดกับผนังที่จะฉาบได้เป็นอย่างดี และเนื่องจากเป็นส่วนที่จะต้องทำให้สวยงาม จึงมีคุณสมบัติอื่นๆ ประกอบอีกด้วย อาทิเช่น ต้องสามารถทนต่อการถูของเกรียงได้นานพอที่จะทำให้ผิวเรียบ เมื่อปูนฉาบแข็งตัวแล้ว จะต้องไม่แตกร้าว อีกทั้งต้องทนทานต่อการยืดหดตัวเมื่ออุณหภูมิและความชื้นเปลี่ยนแปลง

7.3 วัสดุที่ใช้ในงานฉาบ

1. ปูนซีเมนต์

ประเภทของปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานฉาบโดยทั่วไป คือ **ปูนซีเมนต์ผสม** เช่น **ปูนตราเสือ** เป็นต้น เป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพสอดคล้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ผสม หรือ มอก. 80 ซึ่งจะทำให้ได้เนื้อปูนที่เหนียวนุ่ม ยึดเกาะได้ดี มีระยะเวลาการแห้งตัวพอเหมาะ เมื่อแข็งตัวจะได้ผนังที่แข็งแรง มีการหดตัวน้อย จึงช่วยลดโอกาสเกิดการแตกร้าวได้

อีกประเภทหนึ่ง คือ **ปูนซีเมนต์ Masonry** เช่น **ปูนตราเสือพลัส** เป็นต้น เป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพสอดคล้องตามมาตรฐาน ASTM C 91 มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานฉาบโดยเฉพาะ เนื้อปูนมีคุณสมบัติ ผสมง่าย ฉาบเบา (ใช้แรงในการฉาบน้อย) สิ้นเปลือง ง่ายทำงานง่าย มีระยะเวลาการแห้งตัวพอเหมาะ อุ่มน้ำได้ดี เมื่อแข็งตัวจะได้ผนังที่เรียบเนียน มีการหดตัวน้อย จึงช่วยลดโอกาสเกิดการแตกร้าวได้

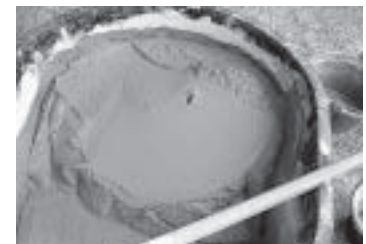
ไม่นิยมใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เนื่องจากมีระยะเวลาแห้งตัว (Setting Time) สั้น ทำให้ไม่เหมาะกับงานฉาบ เนื่องจากช่างจะทำงานฉาบและแต่งผนังไม่ทัน และมีการหดตัวมากกว่าปูนซีเมนต์ผสมและปูนซีเมนต์ Masonry จึงมีโอกาสเกิดรอยแตกร้าวได้ง่ายกว่า

ปูนซีเมนต์ผสม โดยทั่วไป มีน้ำหนักถุงละ 50 กิโลกรัม ส่วนปูนซีเมนต์ Masonry (**ปูนตราเสือพลัส**) มีน้ำหนักถุงละ 40 กิโลกรัม ปูนซีเมนต์ทั้งสองชนิดสามารถฉาบได้พื้นที่ใกล้เคียงกันประมาณ 6 - 7 ตารางเมตร (ฉาบหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร)

ปูนซีเมนต์ที่ดี นอกจากจะต้องผลิตจากบริษัทผู้ผลิตที่ได้มาตรฐานแล้ว คุณภาพปูนซีเมนต์ในขณะที่จะนำมาใช้งาน ก็ต้องอยู่ในสภาพที่ดีด้วย เนื่องจากปูนซีเมนต์มีอายุการกองเก็บ ปูนซีเมนต์ที่เก็บไว้นาน เมื่อถูกความชื้นคุณภาพจะลดลง บางส่วนอาจจับตัวเป็นเม็ด การนำมาใช้ จะต้องร่อนเอาส่วนที่เป็นเม็ดออกเสียก่อน หรือถ้าขึ้นมากจนแข็งเป็นก้อน บีบไม่แตกก็ไม่ควรนำมาใช้ ดังนั้น การเก็บรักษาปูนซีเมนต์จึงต้องพยายามเก็บให้ถูกความชื้นน้อยที่สุด ควรทำการกองเก็บปูนซีเมนต์ไว้ในสถานที่ที่สามารถป้องกันน้ำหรือความชื้นได้เพื่อป้องกันไม่ให้เป็นปูนซีเมนต์จับตัวเป็นก้อนก่อนนำไปใช้งาน



รูปที่ 7-3 ทั้ง ปูนซีเมนต์ผสม และปูนซีเมนต์ Masonry เป็นประเภทปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานฉาบ



รูปที่ 7-4 ปูนซีเมนต์ Masonry มีคุณสมบัติการอุ่มน้ำได้ดี ภายหลังผสมแล้ว 30 นาที เนื้อปูนฉาบยังคงเป็นเนื้อเดียวกันอยู่ จึงใช้งานต่อได้ทันที โดยไม่ต้องผสมซ้ำ



รูปที่ 7-5 ลักษณะปูนซีเมนต์จับตัวเป็นก้อน ซึ่งเกิดจากวิธีการกองเก็บปูนซีเมนต์ที่ไม่ถูกวิธี



รูปที่ 7-6 การร่อนทราย เพื่อคัดเอาวัสดุปลอมปนออกก่อนนำไปใช้งาน

2. ทราย

ทรายที่ใช้สำหรับงานฉาบ โดยปกติจะใช้ทรายละเอียดซึ่งผ่านการร่อนเอากรวดเม็ดใหญ่ ๆ ออกก่อน (ทรายละเอียด หมายถึง ทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดแล้ว มีเม็ดทรายขนาด 0.5 - 1.5 มิลลิเมตร) หรือในบางงานที่ต้องการผิวนิ่งเรียบมาก ๆ อาจใช้ทรายแฉ่ง (ขนาดเล็กกว่า 0.6 มิลลิเมตร) แต่เนื่องจากการใช้ทรายเม็ดเล็กมาก ๆ หรือทรายแฉ่ง เพียงอย่างเดียวในการฉาบจะทำให้เกิดรอยแตกขยายได้ง่าย และทรายแฉ่งจะมีราคาสูงกว่าทรายปกติ ดังนั้น จึงนิยมใช้ทรายแฉ่ง เฉพาะในงานลิ้นฉาบหน้าผนังปูนฉาบให้เกิดความเรียบเนียนเป็นพิเศษ เท่านั้น

ทรายที่ใช้สำหรับงานฉาบ ควรมีคุณภาพสอดคล้องตาม มอก. 1776 กล่าวคือ ควรเป็นทรายน้ำจืดที่มีขนาดของทรายผ่านร่อน 1.18 มิลลิเมตร ไม่น้อยกว่า 70% และผ่านร่อน 75 ไมโครเมตร ไม่มากกว่า 10% ดัง ตารางที่ 7-2 มีลักษณะแข็ง แฉ่ง ทนทาน เป็นแฉ่ง มีเหลี่ยมมุม เม็ดทรายที่เป็นแฉ่ง มีเหลี่ยมมุมจะช่วยเพิ่มการยึดเกาะและทำให้ได้กำลังที่ดีกว่า ไม่ควรมีลักษณะแบนหรือยาวหรือฟรุ้ง ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ขนาดของเม็ดทรายควรมีหลายขนาดคละกัน สะอาด ไม่มีส่วนผุกร่อนหรือวัชพืชปนอยู่ ไม่มีสารอินทรีย์ เช่น เมล็ดพืช ขากพืช ขากสัตว์ ฝุ่น ดิน เปลือกหอย หรือสารเคมีเจือปน ทั้งยังจะต้องไม่มีสภาพเป็นกรด ด่าง หรือเกลือ ปนอยู่ในเนื้อทราย

ทรายทรายที่ใช้สำหรับงานฉาบ ถ้ามีสิ่งสกปรก หรือวัสดุปลอมปนมาก ควรนำทรายมาร่อน เพื่อคัดเอาวัสดุปลอมปนออกก่อนนำไปใช้งาน และเก็บให้พ้นจากการชะล้างของน้ำฝน หรือการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรก

ขนาดร่อน	ส่วนที่ผ่านร่อนโดยน้ำหนัก (%)	
	ส่วนหยาบ	ส่วนละเอียด
6.30 มิลลิเมตร	100	100
4.75 มิลลิเมตร	95 - 100	95 - 100
2.36 มิลลิเมตร	60 - 100	80 - 100
1.18 มิลลิเมตร	30 - 100	70 - 100
600 ไมโครเมตร	15 - 80	55 - 100
300 ไมโครเมตร	5 - 50	5 - 75
150 ไมโครเมตร	0 - 15	0 - 20
75 ไมโครเมตร	ไม่มากกว่า 10	ไม่มากกว่า 10

ตารางที่ 7-2 ขนาดของทรายละเอียด

3. ปูนฉาบสำเร็จรูป

ปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นกับการฉาบปูน คือ ไม่สามารถควบคุมคุณภาพทรายที่นำมาผสมปูนฉาบให้มีขนาดเม็ดที่เหมาะสม และมักจะมีสิ่งสกปรกหรือสารเคมีเจือปนอยู่นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่เกิดจากการผสมที่ไม่ได้สัดส่วนที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ปัญหาดังกล่าวสามารถป้องกันได้โดยการใช้ปูนฉาบสำเร็จรูป

ปูนฉาบสำเร็จรูป คือ ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ หินบดละเอียด และสารผสมเพิ่มคุณสมบัติสำหรับงานฉาบ ตามสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับงานฉาบ และมีการควบคุมส่วนผสมและคุณภาพของวัตถุดิบให้มีความสม่ำเสมอ ทำให้ได้ปูนฉาบที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับงานฉาบ มีแรงยึดเกาะที่ดีกว่า เพื่อช่วยลดปัญหาการแตกร้าว หลุดล่อน สะดวกในการใช้งาน เพียงฉีกถุงผสมน้ำ ก็สามารถใช้งานได้ทันที โดยไม่ต้องผสมทรายหรือสารเคมีเพิ่มเติม จึงสามารถป้องกันปัญหาทรายที่มีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน และการผสมที่ไม่ถูกต้องส่วนได้เป็นอย่างดี อีกทั้งการบรรจุถุง ยังช่วยลดปัญหาการสูญเสียเนื่องจากการกองเก็บการขนย้าย และยังใช้พื้นที่ในการกองเก็บหน้างานน้อย จึงช่วยแก้ปัญหาพื้นที่กองเก็บวัสดุในหน่วยงานที่มีพื้นที่ก่อสร้างจำกัดได้อีกด้วย

ปัจจุบันปูนฉาบสำเร็จรูป มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดเพื่อให้เหมาะกับผนังแต่ละประเภท เช่น **ปูนฉาบทั่วไปตราเสือคู่**, **ปูนฉาบละเอียดตราเสือคู่**, **ปูนฉาบขาวตราเสือคู่**, และ**ปูนฉาบละเอียดขาวตราเสือคู่**

ปูนฉาบสำเร็จรูป โดยทั่วไป มีน้ำหนักถุงละ 50 กิโลกรัม สามารถฉาบได้พื้นที่ประมาณ 1.8 - 2.3 ตารางเมตร (ฉาบหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร)

4. ปูนขาว

มีคุณสมบัติช่วยหน่วงระยะเวลาการก่อตัวของปูนฉาบ ในสมัยก่อนช่างไทยนิยมใช้ปูนขาวผสมในปูนฉาบ เพราะจะทำให้เนื้อปูนฉาบมีความนุ่มลื่น อุ่มน้ำ ทำงานง่ายขึ้น แต่การใช้ปูนขาว จะต้องเลือกปูนขาวที่สุกใหม่ ไม่มีก้อนแข็งปน ร้อนผสมกับทรายตามสัดส่วนที่ต้องการโดยมากจะผสมเท่ากับปริมาณปูนซีเมนต์ใส่น้ำแล้วหมักไว้ก่อนใช้งาน 24 ชั่วโมง (หรือทั่วไป จะหมักไว้หนึ่งคืนก่อนการฉาบในวันรุ่งขึ้น) เพื่อให้ปูนขาวอิมตัว (Hydrated Lime) ทำให้มีขั้นตอนยุ่งยาก จะต้องทำบ่อหมักและเสียเวลาเตรียมงานนาน อีกทั้งปูนขาวที่อุ่มน้ำมาก ก็จะหดตัวได้มากเช่นกัน การผสมมากเกินไปก็เป็นสาเหตุของการแตกร้าว

ปัจจุบัน ปูนขาวได้รับความนิยมลดน้อยลงไป เนื่องจากมีน้ำยาผสมปูนฉาบที่ให้คุณสมบัติในการทำงานที่ดีกว่า และขั้นตอนการทำงานไม่ยุ่งยาก

5. น้ำ

น้ำที่ใช้ผสมปูนฉาบ ควรเป็นน้ำสะอาดที่ไม่มีความเป็นกรดหรือด่าง ไม่มีสารเคมีเจือปน เพราะจะทำให้คุณภาพปูนฉาบลดลง

6. สี

ในกรณีที่ต้องการฉาบผนังให้มีสีสัน เราสามารถผสมสีลงไปในเนื้อปูนฉาบได้ สีที่ใช้ ได้แก่ สีฝุ่น ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีต่างๆ

7. สารผสมปูนฉาบ

สารผสมปูนฉาบหรือน้ำยาผสมปูนฉาบ เป็นสารเคมีที่ใช้ผสมในขั้นตอนการผสมปูนฉาบ ทำให้เนื้อปูนฉาบ มีความเหนียว นุ่ม ลื่น ทำงานง่ายขึ้น มีทั้งชนิดที่เป็นผงและชนิดที่เป็นน้ำ ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 7-7 ปูนฉาบสำเร็จรูป เช่น ปูนฉาบทั่วไปตราเสือคู่, ปูนฉาบละเอียดตราเสือคู่, ปูนฉาบขาวตราเสือคู่, และปูนฉาบละเอียดขาวตราเสือคู่



รูปที่ 7-8 สารผสมปูนฉาบ

7.4 สารผสมปูนฉาบ

ในสมัยก่อนที่ยังไม่มีปูนซีเมนต์ใช้นั้น การก่อและการฉาบผนังหรือกำแพง นิยมใช้ปูนขาวผสมกับทราย และใช้น้ำอ้อยเป็นตัวเชื่อมปูนขาว โดยจะเกิดปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศกลายเป็นวัสดุที่แข็งแรง การยึดหดตัวของปูนขาวเมื่อแข็งตัวแล้วมีมากกว่าปูนซีเมนต์ แต่ให้แรงยึดเกาะดีกว่าปูนซีเมนต์ แต่เนื่องจากการแข็งตัวของปูนขาวช้ามาก ภายหลังจึงมีการผสมปูนซีเมนต์เข้าไปช่วยให้แข็งตัวเร็วขึ้น อีกทั้งยังเป็นการเชื่อมยึดเม็ดทรายด้วย ในกรณีที่ใช้น้ำอ้อยหรือน้ำตาลเป็นตัวเชื่อม

ปูนขาวได้จากการเผาหินปูนที่มีปริมาณแคลเซียมสูงจนสุก ปูนขาวเป็นวัสดุที่ดูดน้ำและทำให้ปูนฉาบเหลวและลื่น ทำให้ฉาบง่ายขึ้นแต่การหดตัวเมื่อแห้งสูง การเตรียมน้ำปูนขาวทำได้โดยการผสมปูนขาวกับน้ำพอให้เหลว แล้วเก็บไว้โดยป้องกันการระเหยของน้ำไว้ 24 ชั่วโมงก่อนใช้ หรือจะผสมปูนขาวกับน้ำจนเป็นน้ำขุ่น ๆ แล้วกรองผ่านตะแกรง เบอร์ 10 เก็บไว้ 7 วันก่อนใช้ โดยต้องระวังไม่ให้น้ำระเหยออกไป สัดส่วนที่ใช้ในการผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ปูนขาว คือ 1 : 1

เนื่องจากความไม่สะดวกในการห้ปูนขาวก่อนนำมาใช้ เพราะการใช้ปูนขาวนั้นจะต้องเสียเวลาในการร่อนและการหมักให้ปูนขาวละลายน้ำก่อน อีกทั้งราคาของปูนขาวถ้าเทียบตามน้ำหนักแล้วก็ใกล้เคียงกับราคาของปูนซีเมนต์ ดังนั้นในปัจจุบัน หน่วยงานก่อสร้างส่วนใหญ่จึงนิยมใช้น้ำยาผสมปูนฉาบเพื่อเพิ่มความเหนียวลื่นให้แก่ปูนฉาบแทนการใช้ปูนขาว

ในปัจจุบันมีสารผสมปูนฉาบที่ใช้งานโดยไม่ต้องผสมปูนขาวหลายชนิด โดยมีทั้งชนิดที่อยู่ในรูปของเหลว และชนิดที่เป็นผงละเอียด ส่วนอัตราการใช้สารผสมปูนฉาบ ให้ใช้ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

สารผสมปูนฉาบมีคุณสมบัติหลัก 3 ประการ ได้แก่

1. เป็นน้ำยาหรือผงเคมีที่สามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำ และทำให้น้ำแทรกซึมเข้าไปในเนื้อปูนฉาบได้อย่างทั่วถึง น้ำและฟองอากาศจะช่วยหล่อลื่นเนื้อปูนฉาบ ช่วยให้ฉาบได้ง่ายขึ้น
2. ช่วยรักษาปริมาณน้ำให้อยู่ในส่วนผสมได้นานขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเกิดชั้นได้สมบูรณ์มากขึ้น ปูนฉาบเมื่อแข็งตัวแล้วจึงยึดเกาะผนังได้ดีขึ้น
3. ช่วยยืดระยะเวลาการแข็งตัวของปูนฉาบให้นานขึ้น จึงมีระยะเวลาทำงานฉาบปูนได้นานขึ้น ผนังที่ฉาบแล้วเสร็จจึงเรียบสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันดีขึ้น

7.5 อัตราส่วนผสมของปูนฉาบ

การผสมปูนฉาบ จะใช้อัตราส่วนผสมโดยปริมาตรเป็นหลัก โดยควรใช้อัตราส่วนผสมปูนฉาบตามที่บริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์แนะนำ

ในการฉาบชั้นแรก นิยมใช้ อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย ประมาณ 1 : 2.5 ถึง

1 : 3 ปูนฉาบชั้นแรกนี้ ช่างปูนนิยมเรียกว่า “ปูนเค็ม” เพราะมีสัดส่วนของปูนซีเมนต์อยู่มาก ทำให้ยึดเกาะกับผนังได้ดี แต่ก็หดรัดตัวได้มากและแตงผิวยากเช่นกัน ดังนั้น เมื่อฉาบชั้นที่สองหรือฉาบชั้นสุดท้าย ช่างปูนจึงนิยมใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย ประมาณ 1 : 3 ถึง 1 : 4 เรียกว่า “ปูนจืด” เนื่องจากปูนจืดมีทรายมากกว่า จึงหดรัดตัวน้อย และแตงผิวง่ายกว่าปูนเค็ม จึงเหมาะกับการฉาบผิวหน้าเพราะไม่ค่อยแตกร้าวหรือแตกลายงา

ปัจจุบัน ช่างบางกลุ่มซึ่งก่อผนังได้ระดับได้แนวดีแล้ว นิยมฉาบเพียงชั้นเดียว อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย ที่ใช้ คือ 1 : 3 หรือเรียกว่า “ปูนกลาง” ทั้งนี้ การเรียกชื่อหรือภาษาที่ใช้ อาจจะเรียกแตกต่างกันไปตามพื้นที่

อัตราส่วนผสมของปูนฉาบที่เหมาะสมนี้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับประเภทและตราของปูนซีเมนต์ ยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของทรายที่ใช้เป็นสำคัญด้วย การผสมปูนฉาบ จึงไม่มีอัตราส่วนที่ตายตัวแน่นอน จะขึ้นอยู่กับพิจารณาของช่างโดยทั่วไป เมื่อผสมแล้วช่างจะดูลักษณะความชื้นเหลวของเนื้อปูน แล้วจึงพิจารณาเติมปูนซีเมนต์ ทราย หรือน้ำ เพื่อให้ได้สภาพเนื้อปูนที่เหมาะสม

7.6 การเตรียมงานฉาบ

1. วางแผนการทำงาน

การวางแผนการทำงานเป็นเรื่องสำคัญที่จะส่งผลถึงความเรียบร้อยและสมบูรณ์ในงานฉาบ เช่น ควรวางแผนการฉาบให้สอดคล้องกับระยะเวลาการทำงานที่มีอยู่ ให้เสร็จสมบูรณ์ทีละส่วน ควรหลีกเลี่ยงการฉาบบนผิวผนังที่สัมผัสแสงแดดจัดโดยตรง เพราะปูนฉาบจะแห้งเร็วเกินไป เป็นสาเหตุของการแตกลายงา ควรเลือกฉาบผนังในเวลาที่ได้รับร่มเงา หรือทำที่กำบังเพื่อป้องกันแสงแดด และหมั่นรดน้ำหรือพรมน้ำ เพื่อไม่ให้ผนังที่ฉาบแห้งเร็วจนเกินไป และทำการบ่มทุกครั้ง หลีกเลี่ยงการทำงานในกรณีที่โครงสร้างได้รับแรงสั่นสะเทือน เช่น มีการขุดเจาะอยู่ใกล้ๆ เพราะจะทำให้ผนังมีโอกาสที่จะหลุดล่อนได้สูง

2. การเตรียมสถานที่

ก่อนการทำงาน ควรทำความสะอาดสถานที่ให้เรียบร้อย ไม่ควรมีเศษขยะ เศษฝุ่น หรือเศษวัสดุอื่นใดอยู่ในบริเวณที่ทำงาน ที่สำคัญ ควรตรวจแนวผนังและพื้นผิวที่จะทำการฉาบว่าถูกต้องตามแบบหรือไม่ หากเกิดความผิดพลาดหรือก่อสร้างไม่ตรงตามแบบ ควรรีบแก้ไขก่อนทำการฉาบ

3. การเตรียมวัสดุ

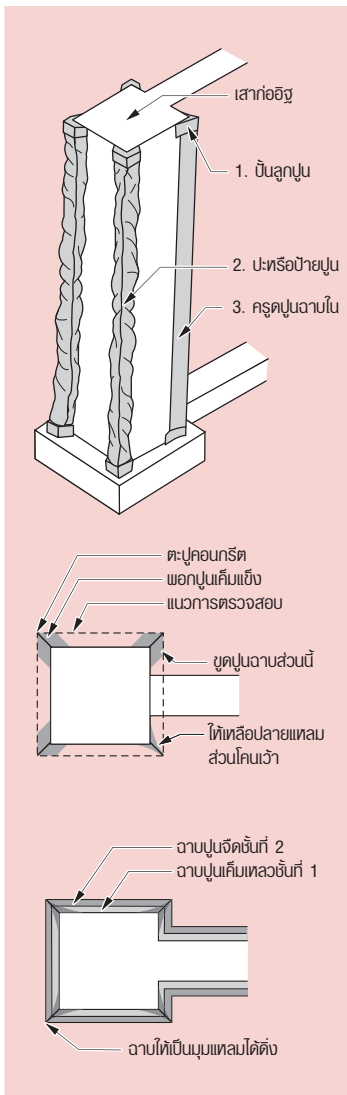
วัสดุที่ใช้ในการฉาบประกอบด้วย ปูนซีเมนต์, ทราย, ปูนขาวหรือน้ำยาผสมปูนฉาบ, น้ำ, และ Pigment สี

4. การเตรียมอุปกรณ์

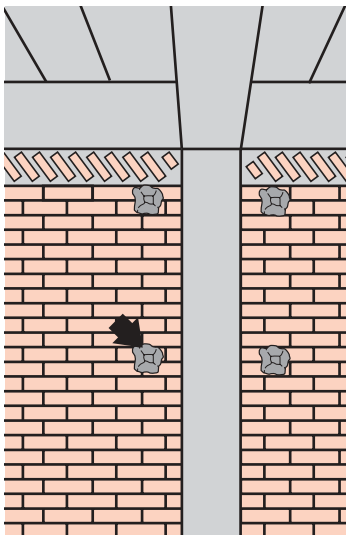
เช่น กระบะผสมปูน, จอบผสม, ถังน้ำ, เกรียงฉาบ, บรทัดปาดปูน, และอื่น ๆ



รูปที่ 7-9 ควรหลีกเลี่ยงการฉาบบนผิวผนังที่สัมผัสแสงแดดจัดโดยตรง



รูปที่ 7-10 การจับเชื่อม



รูปที่ 7-11 การจับปุ่ม

5. การเตรียมผนัง

เพื่อให้การทำงานฉาบเป็นไปด้วยความสะดวกรวดเร็วและได้ผลงานดี ได้ระดับทั้งแนวระนาบและแนวตั้ง เราจึงควรเตรียมผนังให้พร้อมสำหรับงานฉาบ เพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพและทำงานได้สะดวกรวดเร็ว ดังนี้

- การสกัดผนังส่วนที่โค้งหรือแอ่นตัวมากเกินไป ตรวจสอบผนังว่ามีส่วนที่โค้งหรือแอ่นตัวมากเกินไปหรือไม่ ถ้ามี ควรทำการสกัดให้ได้ระนาบเดียวกันกับส่วนอื่นก่อนทำงาน เพื่อจะได้ไม่ต้องฉาบส่วนที่โค้งหรือแอ่นตัวให้หนากว่าส่วนอื่น ๆ ซึ่งหากฉาบหนาเกินไปก็เป็นสาเหตุให้เกิดการหลุดล่อนได้
- การทำความสะอาดผิวผนัง ให้สะอาด ปราศจากฝุ่น ดินโคลน น้ำมัน ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการหลุดล่อนของปูนฉาบได้ง่ายในภายหลัง
- การจับเชื่อมและการจับปุ่ม ในงานฉาบปูน พื้นผิวภายหลังการฉาบ จะต้องผิวเรียบ ได้แนวทั้งแนวตั้งแนวระนาบ มุมทุกมุมต้องได้ฉาก การจับเชื่อมและปุ่มจะช่วยให้การฉาบให้ได้แนวและความหนาที่ต้องการโดยง่าย การจับเชื่อม หมายถึง การพอกปูนเดิมบริเวณขอบมุมผนังหรือเสา ให้ได้ระนาบและระยะแนวเส้นขอบโครงสร้างตามที่ต้องการ เพื่อช่วยกระยะในขณะฉาบ ให้ได้ระยะที่ต้องการได้ง่าย

การจับปุ่ม หมายถึง การป้ายปูนเดิมเป็นก้อนขึ้นมาจากผนัง โดยระดับหลังปุ่ม จะเป็นระดับผิวผนังที่ได้ระนาบ ซึ่งช่างจะต้องทำการวัดทั้งระดับและความหนาให้ได้ ตามที่ต้องการ ในขณะฉาบก็จะใช้ระดับหลังปุ่มเป็นระดับผิวผนัง ทำให้ทำงานฉาบได้รวดเร็วขึ้น

- การสกัดตอก หมายถึง การเตรียมผิวที่จะฉาบให้หยาบหรือขรุขระ โดยเฉพาะการฉาบผิวเสาหรือคานคอนกรีต โดยการกะเทาะให้เกิดรอย หรือทำการสกัดปูนทราย โดยใช้สัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายหยาบ 1 : 1 โดยปริมาตร ให้เกาะติดกับผนังก่อนฉาบ การเตรียมผิวให้หยาบ หรือขรุขระนี้ เพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะ และช่วยป้องกันการหลุดล่อนของปูนฉาบในภายหลัง
- การติดตะแกรงลวดตาข่าย สำหรับในบางบริเวณ เช่น บริเวณขอบมุมวงกบประตู หน้าต่าง เป็นส่วนที่วงกบได้รับแรงกระทำจากการเปิด ปิดประตู หรืออาจมีการยึดหดตัวของวงกบหรือในบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุต่างชนิด เช่น ผนังก่ออิฐกับเสา คานคอนกรีตหรืออิฐต่างชนิดกัน เป็นบริเวณที่มักจะเกิดรอยร้าวได้ง่าย เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิด จะมีคุณสมบัติต่างกัน ทั้งความทนทาน การซึมน้ำ การยึดหดตัว และโดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างแต่ละส่วนรับแรงกระทำต่างกัน ทำให้มักพบปัญหารอยร้าวบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุ เช่น รอยต่อระหว่างเสา คาน กับผนังก่ออิฐ เป็นต้น ฉะนั้น ก่อนการฉาบในบริเวณดังกล่าว ควรติดตะแกรงลวดตาข่าย ขนาดตะแกรงประมาณ 6 หุน กว้างประมาณ 30 เซนติเมตร ยึดกับผิวผนัง

ด้วยตะปูตลอดแนวที่วัสดุต่างชนิดมาชนกัน และตามแนวมุมวงกบ ทั้งนี้ รวมถึงตามรอยแนวยึดสายไฟ เพื่อช่วยรับแรงดึงอันจะทำให้เกิดรอยร้าว จะทำให้ลดปัญหาการเกิดรอยร้าวลงได้ สำหรับแนวท่อสายไฟ ควรติด ตะแกรงลวดตาข่าย ขนาดความกว้างไม่น้อยกว่า 15 เซนติเมตร ตลอดแนว

6. การรอให้ผนังก่อมีอายุอย่างน้อย 1 สัปดาห์

โดยปกติควรก่อผนังเสร็จก่อนทำการฉาบอย่างน้อย 1 สัปดาห์ เพื่อให้ผนัง แข็งแรงพอ และไม่เกิดการแตกร้าวของผิวผนังฉาบจากการทรุดตัวของ ผนังก่อ

7.7 การผสมปูนฉาบ

การผสมปูนฉาบ ช่างปูนส่วนใหญ่จะผสมโดยกะสัดส่วนตามปริมาตร วิธีการผสม ของช่างแต่ละคนก็มักจะแตกต่างกันออกไปตามประสบการณ์, วัสดุและอุปกรณ์ที่มี, และ สภาพหน้างาน เช่น ใช้ปูนกี่หรือใช้ถังพลาสติกในการตักทราย ใช้ถังเปلهหรือกระบะที่ก่อกั้น มาเพื่อการผสมปูน ทำให้ได้ปูนฉาบที่มีอัตราส่วนผสมและคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยช่าง ปูนจะพิจารณาสภาพเนื้อปูน และความชื้นเหลว ภายหลังจากการผสม แล้วจึงปรับเพิ่มปริมาณ ปูนซีเมนต์ ทราย หรือน้ำ เพื่อให้ได้สภาพปูนฉาบที่ต้องการต่อไป

ลักษณะเนื้อปูนฉาบที่ดี เมื่อผสมเสร็จ จะต้องมีความชื้นเหลวเหมาะสม มีความ เหนียวนุ่ม เวลาปั้นจะจับตัวเป็นก้อนไม่แห้งแตก มีความเหนียวยึดเกาะก้อนอิฐดี แต่ไม่ เหนียวติดเกรียง ไม่ร่วงหล่นในขณะเคาะอิฐให้ไถระดับ หรือยุบตัวได้ง่าย

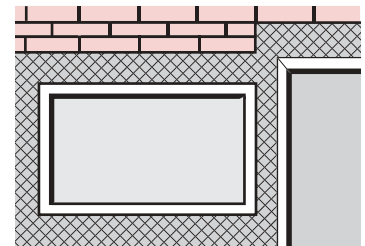
ปูนฉาบที่ผสมแล้ว ควรใช้ให้หมดโดยเร็ว ไม่ควรทิ้งไว้เกินครึ่งชั่วโมง เพราะปูน ฉาบจะเริ่มแห้งและจับตัว ทำให้คุณสมบัติในการใช้งานด้อยลงไป หากจำเป็นต้องทำการ ปรับส่วนผสมและผสมซ้ำอีกครั้ง

เนื้อปูนฉาบที่แห้งเกินไป ทำให้การยึดเกาะไม่ดี ฉาบได้ยาก ผิวไม่เรียบ จึงต้อง ทำการปรับแก้ความชื้นเหลวของเนื้อปูนฉาบ โดยการเพิ่มปริมาณน้ำ และผสมซ้ำ จนปูน ฉาบมีความชื้นเหลวที่พอเหมาะแก่การใช้งาน

เนื้อปูนฉาบที่เหลวเกินไป ทำให้การยึดเกาะไม่ดี ฉาบได้ยาก ผิวไม่เรียบ จึงต้อง ทำการปรับแก้ความชื้นเหลวของเนื้อปูนฉาบ โดยการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์และทราย และ ผสมซ้ำ จนปูนฉาบมีความชื้นเหลวที่พอเหมาะแก่การใช้งาน



รูปที่ 7-12 การสลัดดอกที่ผิวเสาและ คานคอนกรีต ก่อนทำการฉาบปูน



รูปที่ 7-13 การติดตะแกรงลวดตาข่าย



รูปที่ 7-14 ลักษณะเนื้อปูนฉาบที่มี ความชื้นเหลวเหมาะสม มีความ เหนียวยึดเกาะดี



รูปที่ 7-15 เนื้อปูนฉาบที่จัดเกินไป กล่าว คือ มีการผสมปูนซีเมนต์น้อยเกินไป (หรือ ผสมทรายมากเกินไป) ทำให้ปูนซีเมนต์ เคลือบเม็ดทรายได้ไม่หมด



ก) เนื้อปูนฉาบที่มีการยึดเกาะกันดี

รูปที่ 7-16 คุณสมบัติการยึดเกาะของเนื้อปูนฉาบ



ข) เนื้อปูนฉาบที่มีการยึดเกาะกันไม่ดี



7.8 เทคนิคการฉาบปูน



รูปที่ 7-17 การรดน้ำผนังอย่างเพียงพอและทั่วถึง ก่อนทำการฉาบ



รูปที่ 7-18 การฉาบ



รูปที่ 7-19 ปูนฉาบแตกร้าว เนื่องจาก
การฉาบปูนชั้นที่สองเข้าเกินไป



รูปที่ 7-20 การบั่นแห้งด้วยเกรียงไม้
เพื่อให้ผิวผนังเนียนและแห้ง แทนที่วิธี
การลงฟองน้ำ จะช่วยให้ปูนฉาบคงทน
และไม่เป็นฝุ่น

1. การรดน้ำผนังอย่างเพียงพอและทั่วถึง ก่อนทำการฉาบ

เนื่องจากวัสดุก่อแต่ละประเภทส่วนใหญ่จะมีรูพรุนอยู่ในเนื้อวัสดุและจะดูดซึมน้ำ ในขณะที่ปูนฉาบยังไม่แข็งตัวดีนั้น หากถูกวัสดุก่อดูดน้ำออกไปมาก จะส่งผลต่อความแข็งแรงของผนัง เป็นสาเหตุของการแตกร้าวและหลุดล่อนได้ในภายหลัง ดังนั้น ก่อนทำการฉาบทุกครั้งจะต้องทำการรดน้ำให้ทั่วผนังที่จะทำการฉาบ จนผนังก่อดูดน้ำจนอิ่มตัว ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่รด จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุก่อ บางชนิดดูดน้ำได้เร็ว สามารถรดน้ำครั้งเดียวก็ทำการฉาบได้ แต่วัสดุก่อบางชนิดจะดูดน้ำได้ช้า อาจจะต้องรดน้ำซ้ำจนเห็นว่าวัสดุก่อนั้นอิ่มตัวดีแล้วจึงจะฉาบได้ การรดน้ำให้ชุ่มในช่วงเย็นก่อนทำการฉาบ 1 วัน และในวันรุ่งขึ้นก่อนจะเริ่มฉาบ ควรพรมน้ำซ้ำอีกครั้ง จนกว่าจะสังเกตเห็นน้ำซึมออกมาอีกด้านหนึ่งของผนังที่ไม่ได้พรม

2. การฉาบชั้นแรก

การฉาบปูน ควรฉาบอย่างน้อย 2 ชั้น การฉาบชั้นแรก เป็นชั้นที่ปูนฉาบสัมผัสกับวัสดุก่อ หรือโครงสร้าง ควบคุมการฉาบให้ได้ความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร การฉาบชั้นนี้ จะส่งผลต่อการแตกร้าวและหลุดล่อนได้มาก จึงนิยมใช้ปูนเค็มในการฉาบ เนื่องจากปูนเค็มมีการยึดเกาะที่ดี เพราะมีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์มาก แล้วจึงใช้ปูนจืดฉาบชั้นสุดท้าย

3. การปรับระดับโดยใช้บรรทัดปาดปูน

เป็นการปรับผิวหน้าของปูนฉาบให้ได้ระดับตามที่ จับเชี่ยม จับปุ่มไว้ โดยการใช้อันตรวัดปาดปูนลงไปมา ระหว่างปุ่ม หรือเชี่ยม เพื่อตัดเนื้อปูนส่วนเกินออก และหากเนื้อปูนไม่ถึงระดับที่ทำไว้ก็สามารถฉาบเพิ่มเติมเข้าไปได้

4. การฉาบชั้นที่สอง

หรือการฉาบทับผิวหน้า หรือการฉาบชั้นสุดท้าย ควบคุมการฉาบให้ได้ความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร และเมื่อรวมความหนาปูนฉาบทั้งสองชั้นแล้ว ต้องไม่เกิน 2.5 เซนติเมตร สำหรับการฉาบในชั้นนี้ จะใช้ปูนจืดในการฉาบ และสำหรับในบางงาน ที่ต้องการผนังที่เรียบเนียนมากเป็นพิเศษ อาจจะใช้ทรายล้างในการฉาบไล่ผิวหน้าบาง ๆ ให้ทั่วผนัง

5. การตีน้ำลงฟอง

เป็นขั้นตอนที่จะทำให้ผนังปูนฉาบ มีความเรียบเนียนมากขึ้น โดยการใช้แปรงสไลด์น้ำไปที่ผนังปูนฉาบที่เริ่มแห้งหมาด ๆ แล้วใช้เกรียงไม้ลูบไปมาให้ทั่วเพื่อเกลี่ยผิวหน้าปูนฉาบให้มีความเสมอกันทั่วทั้งผนัง จากนั้นใช้ฟองน้ำชุบน้ำบิดให้แห้ง ประคบบนเกรียงไม้ ลูบไปมาให้ทั่วผนังอีกครั้งก็จะได้ผนังที่เรียบสวยงาม

ไม่ควรตีน้ำขณะที่ปูนฉาบยังไม่แห้ง หรือปล่อยให้ปูนฉาบแห้งไปแล้วจึงตีน้ำ

เพราะจะทำให้ผนังปูนฉาบเกิดการแตกสลายภายหลัง
ไม่ควรใช้ฟองน้ำที่แห้งเกินไป เพราะจะดูดน้ำปูนออกจากปูนฉาบ ทำให้ปูน
ฉาบแห้งตัวเร็วและแตกร้าวได้

6. การบ่มผิว

ขั้นตอนนี้ มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากสาเหตุสำคัญของปัญหาการ
แตกร้าวส่วนหนึ่งมาจากการที่ปูนฉาบสูญเสียน้ำเร็วเกินไป ในขณะที่ปูนยังไม่
แข็งตัว การบ่ม ทำได้โดยการใช้น้ำพ่นเป็นหมอกหรือละอองไปบนผิวปูนฉาบ
ที่เริ่มแข็งตัวแล้ว เพื่อให้ผนังชุ่มชื้นอยู่เสมอเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 7 วัน
แรก ส่วนใหญ่ช่างที่ไม่ค่อยพิถีพิถันในการทำงาน มักจะละเลยไม่บ่มผิว หรือ
บ่มน้อยเกินไป จึงเป็นสาเหตุให้แตกสลาย

7.9 เทคนิคการฉาบผนังวัสดุประเภทต่าง ๆ

1. การฉาบผนังอิฐมวลเบา

การฉาบผนังอิฐมวลเบา เป็นการฉาบที่ช่างทั่วไปคุ้นเคยดีอยู่แล้ว เพียงระวัง
เรื่องความหนา ความเรียบ และการทำงานให้ได้ตามมาตรฐาน

2. การฉาบผนังคอนกรีตบล็อกหรือผนังอิฐบล็อก

คอนกรีตบล็อกหรืออิฐบล็อก จะมีความเปราะและซึมน้ำได้มากกว่าอิฐมวลเบา
ดังนั้น ในการรดน้ำ ไม่จำเป็นต้องรดน้ำให้ชุ่มจนเกินไป เพราะจะทำให้ปูน
แห้งยากและแตงผิวได้ลำบาก

3. การฉาบผนังคอนกรีตมวลเบาหรือผนังอิฐมวลเบา

ถึงแม้ว่าคอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบา จะมีรูพรุนอยู่มาก (ประมาณ 75%
โดยปริมาตร) และสามารถดูดน้ำได้มาก แต่อัตราการดูดซึมจะดูดน้ำได้ช้า ทำให้
การรดน้ำแบบปกติเหมือนฉาบอิฐมวลเบาไม่เพียงพอ มักพบปัญหาฉาบไม่
ติดและหลุดล่อนมาก

การเลือกใช้ปูนซีเมนต์ซึ่งมีคุณสมบัติการยึดเกาะและอัตราการอุ้มน้ำที่ดีมาก
จะช่วยลดปัญหาเนื้อปูนถูกดูดน้ำมากเกินไป จึงป้องกันปัญหาการแตกร้าวได้
ปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับงานฉาบผนังคอนกรีตมวลเบาหรือผนังอิฐมวลเบา
ได้แก่ ปูนซีเมนต์ผสม เช่น **ปูนตราเสือ**, ปูนซีเมนต์ Masonry เช่น **ปูนตรา
เสือพลัส**, หรือการใช้ปูนฉาบสำเร็จรูปที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานฉาบ
อิฐมวลเบาโดยเฉพาะ เช่น **ปูนฉาบอิฐมวลเบาตราเสือคู่**

- การผสมปูน ควรผสมตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต การผสมเหลวจนเกินไป
จะทำให้เสียเวลารอให้ปูนหมาดนาน ปูนอาจเกิดการย้อยตัว เป็นเหตุให้
เกิดการแตกร้าวได้
- ความหนาของปูนฉาบที่แนะนำ อยู่ประมาณ 0.5 - 1.0 เซนติเมตร โดย
ฉาบ 2 ชั้น ชั้นละประมาณครึ่งหนึ่งของความหนาทั้งหมด
- หลังจากฉาบชั้นแรก ทิ้งไว้ให้ผิวหน้าแห้งหมาด ฉาบชั้นที่สองให้ได้ความ



รูปที่ 7-21 ปูนฉาบสำเร็จรูปที่มี
คุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานฉาบอิฐ
มวลเบาโดยเฉพาะ เช่น **ปูนฉาบอิฐมวล
เบาตราเสือคู่**



หนาที่ต้องการ ปาดหน้าให้เรียบแล้วทิ้งให้ผิวหน้าแห้งก่อนตีหน้า

- ในกรณีที่ต้องฉาบหนาเกิน 2.0 เซนติเมตร ควรแบ่งฉาบเป็นชั้น ๆ และ ตัดลวดตาข่ายระหว่างชั้นเพื่อป้องกันการแตกร้าว

4. การฉาบผิวคอนกรีต

มักพบปัญหาการฉาบไม่ติดหรือหลุดล่อนมากเช่นกัน เนื่องจากคอนกรีตมีผิวเรียบมัน โดยเฉพาะหากใช้แบบหล่อที่เป็นแบบเหล็ก ก็จะทำให้ผิวเรียบมันมากขึ้น น้ำยาทาแบบที่ติดอยู่บริเวณผิวก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การฉาบบนผิวคอนกรีตทำได้ยาก ดังนั้น ก่อนการฉาบบนผิวคอนกรีต ควรมีการเตรียมพื้นผิวโดยการสักรัดให้ทั่ว การสักรัดผิวคอนกรีต ควรสักรัดให้เป็นรอยลึกประมาณ 3 - 5 มิลลิเมตร จำนวน 2 - 3 รอย ในแต่ละพื้นที่ 1 ตารางนิ้ว หรือใช้กรดประเภทกรดไฮโดรฟลูออริก (Muriatic Acid) ผสมน้ำในอัตราส่วน 1 : 6 ล้างกัดผิวหน้า แต่หลังจากนั้นจะต้องใช้น้ำสะอาดล้างกรดบนผิวผนังออกให้หมด หรือทำการสลัดดอกด้วยปูนเค็มให้พื้นผิวขรุขระเสียก่อน จะทำให้ฉาบได้ง่ายยิ่งขึ้น การใช้ปูนฉาบสำเร็จรูปที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานฉาบผิวคอนกรีตโดยเฉพาะ เช่น **ปูนฉาบผิวคอนกรีตตราเสือคู่**



รูปที่ 7-22 ปูนฉาบสำเร็จรูปที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานฉาบผิวคอนกรีตโดยเฉพาะ เช่น **ปูนฉาบผิวคอนกรีตตราเสือคู่**

ปัญหาความยุ่งยากในการเตรียมงานเพื่อฉาบผิวคอนกรีตที่มีหลายขั้นตอน หากเตรียมงานไม่ดีจะส่งผลให้ปูนฉาบเกิดการแตกร้าวและหลุดล่อนในภายหลัง การใช้ปูนฉาบสำเร็จรูปชนิดฉาบผิวคอนกรีตเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งสามารถช่วยป้องกันปัญหาต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นได้ เนื่องจากปูนฉาบสำเร็จรูปชนิดนี้ ผลิตขึ้นเพื่อให้มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับงานฉาบผิวคอนกรีตโดยเฉพาะ สามารถใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร มีสารเคมีเพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะ ช่วยลดการแตกร้าวหลุดล่อน สามารถฉาบได้โดยไม่ต้องสักรัดผิวคอนกรีต ไม่ต้องสลัดดอกด้วยปูนเค็ม และไม่ต้องทาน้ำยาก่อนฉาบ นอกจากนี้เนื้อปูนยังสิ้น ง่าย ช่วยลดขั้นตอนในการทำงานฉาบผิวคอนกรีต สามารถทำงานได้รวดเร็ว และมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

7.10 การฉาบด้วยเครื่องพ่นปูนฉาบ



รูปที่ 7-23 เครื่องพ่นปูนฉาบ

● เครื่องพ่นปูนฉาบ

เครื่องพ่นปูนฉาบเป็นอีกวิวัฒนาการหนึ่งของการฉาบปูน ที่นำเอาเครื่องจักรเข้ามาใช้ในการทำงานทดแทนแรงงานคน ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เครื่องพ่นปูนฉาบมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับขั้นตอนการทำงานและชนิดปูนฉาบที่ใช้กับเครื่องพ่น สำหรับประเทศไทย นิยมใช้เครื่องพ่นชนิดพ่นปูนสำเร็จรูปเพียงอย่างเดียว ลักษณะการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ทำการผสมปูนสำเร็จรูปกับน้ำให้ได้อัตราส่วนที่กำหนด โดยสามารถปรับตั้งระดับน้ำเพื่อให้ได้ความข้นเหลวที่เหมาะสมของปูนฉาบสำเร็จรูปแต่ละประเภท อีกส่วนหนึ่งจะเป็นส่วนที่ทำการลำเลียงและการพ่นปูนฉาบสำเร็จรูปที่ผสมเสร็จแล้วไปติดที่ผนัง โดยใช้แรงดันลมในการพ่นปูน

● ข้อดีของการใช้เครื่องพ่นปูนฉาบ

- **สะดวก รวดเร็ว** สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น เนื่องจากมีเครื่องผสมและปั๊มลมช่วยลำเลียงปูนที่ผสมเรียบร้อยแล้วขึ้นสู่ผนัง จึงช่วยลดระยะเวลาการผสมและขึ้นปูนบนผนัง เครื่องพ่นปูนฉาบจึงเหมาะกับงานที่มีเวลาในการทำงานจำกัดหรืองานที่ต้องการความเร่งด่วน
- **ลดการสูญเสีย** ในการผสมปูนและการลำเลียงปูนฉาบโดยทั่วไป มักจะมีการตกหล่นของเนื้อปูนในระหว่างการผสมและการลำเลียง การใช้เครื่องพ่นจะช่วยลดการสูญเสียได้มาก เนื่องจากปูนฉาบทั้งหมดจะถูกผสมในตัวเครื่องและพ่นออกจากสายพ่น ทำให้ไม่มีการตกหล่นขณะผสมและลำเลียง
- **ลดรอยแตกร้าว** เครื่องพ่นปูนสามารถผสมปูนฉาบให้เป็นเนื้อเดียวกันและพ่นปูนฉาบที่ผสมแล้วไปบนผนังด้วยแรงดันลมที่สม่ำเสมอปูนฉาบจึงมีการยึดเกาะกับผนังดีกว่าการใช้มือฉาบ ทำให้ลดปัญหาการเกิดรอยร้าว
- **ประหยัดค่าแรง** เนื่องด้วยตัวเครื่องสามารถผสมและพ่นปูนได้ในตัวเดียวกัน จึงทำให้ประหยัดค่าแรงสำหรับคนงานผสมและลำเลียงปูน อีกทั้งยังทำให้การทำงานฉาบปูนเสร็จเร็วขึ้น ได้ปริมาณงานต่อวันมากขึ้น จึงช่วยลดค่าแรงของช่างฉาบได้อีกด้วย

● ขั้นตอนการทำงานฉาบโดยใช้เครื่องพ่นปูนฉาบ

เครื่องพ่นจะทำการผสม และลำเลียงปูนฉาบที่ผสมเสร็จแล้ว โดยท่อส่งปูน เพื่อไปพ่นยังผนังที่ต้องการฉาบ โดยใช้แรงดันลม เป็นตัวพ่นปูนให้ติดกับผนัง แทนการใช้แรงงานคนในการผสมและขึ้นปูนฉาบ หลังจากพ่นปูนจนเต็มผนังแล้ว ให้ใช้บรรทัดถือปูนปรับระดับผิวหน้าของปูนฉาบให้ได้ระดับตามแนวปูนระดับหรือแนวเชือกที่ทำไว้แล้ว จึงทำการปรับระดับให้เรียบเสมอกันทั่วทั้งแผง จากนั้นก็ทำการตีน้ำลงฟองตามขั้นตอนการฉาบปูนปกติ การใช้เครื่องพ่นปูนฉาบ ช่วยให้การงานฉาบปูนเสร็จเร็วขึ้นประมาณ 1 เท่าตัว เมื่อเทียบกับการทำงานฉาบโดยใช้แรงงานคน



รูปที่ 7-24 ขั้นตอนการทำงานด้วยเครื่องพ่นปูนฉาบ

7.11 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับผนังก่ออิฐฉาบปูน

7.11.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นทันที ภายหลังจากงานฉาบแล้วเสร็จ

1. ผิวผนังไม่ได้ระนาบเดียวกัน

ลักษณะของปัญหา	สาเหตุ
ผิวเอียง ไม่ได้แนว หากใช้บรรทัดวัดปูนวางกับผนัง จะเห็นแสงลอดผ่าน	มักมีสาเหตุจากการใช้ช่างฉาบปูนที่มีฝีมือและความชำนาญต่ำเกินไป
การแก้ไขชั่วคราว	การป้องกัน
สกัดส่วนที่ยื่นออก แล้วทำการแต่งผิวให้เรียบ โดยใช้ช่างที่มีฝีมือและความชำนาญ	เลือกใช้ช่างที่มีฝีมือและความชำนาญ โดยอาจให้ช่างทดลองฉาบก่อน เพื่อตรวจสอบฝีมือ



2. ผิวผนังไม่เรียบ

ลักษณะของปัญหา	สาเหตุ
สังเกตเห็น หรือลองใช้มือลูบผิวผนัง จะรู้สึกว่ามีรูพรุนมาก	- วิธีการฉาบไม่ถูกต้อง - คุณภาพของวัสดุที่ใช้ทำปูนฉาบไม่ดีพอ
การแก้ไขชั่วคราว	การป้องกัน
ใช้วัสดุอื่นมาปิดผนัง หรือทาสี	- เลือกใช้ประเภทปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับงานฉาบ และมีคุณภาพได้มาตรฐาน จะช่วยให้ช่างปูนทำงานฉาบได้ง่าย และได้ผนังที่เรียบมากขึ้น - เลือกใช้เฉพาะทรายที่ละเอียด และร่อนเอาเม็ดกรวด หรือทรายหยาบออกก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งผิวผนังจะเรียบมากขึ้น ปัจจัยหลักข้อหนึ่งมาจากขนาดของทราย - เลือกใช้น้ำที่สะอาด ไม่เป็นกรดหรือด่าง (เช่น น้ำประปา) - หรือเปลี่ยนมาใช้ปูนฉาบสำเร็จรูปแทน

3. ผิวผนังมีรอยตำหนิ หรือมีสีไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 7-25 ผิวผนังมีรอยตำหนิ ซึ่งมีสาเหตุจากการใช้ทรายที่มีเศษไม้ปนเปื้อนมาผสมในส่วนผสมปูนฉาบ

ลักษณะของปัญหา	สาเหตุ
สังเกตเห็นรอยตำหนิที่ผิว หรือสี ที่ไม่สม่ำเสมอ	- ปูนซีเมนต์เป็นเม็ด - ทรายสกปรก มีสิ่งเจือปน (เช่น เศษไม้) - น้ำไม่สะอาดเพียงพอ - การผสมปูนฉาบไม่สม่ำเสมอเพียงพอ - ฝีมือและความชำนาญในการแต่งผิวของช่างปูนไม่ดีพอ - การฉาบต่างเวลากันในบริเวณพื้นที่ที่อยู่ติดกัน ทำให้เกิดรอยต่อของการฉาบที่มีสีแตกต่างกัน
การแก้ไขชั่วคราว	การป้องกัน
ใช้วัสดุอื่นมาปิดผิว	- เตรียมงานฉาบอย่างถูกต้อง และทำงานฉาบอย่างถูกวิธีทุกขั้นตอน - การเลือกใช้ช่างที่มีฝีมือและความชำนาญ หรือเปลี่ยนมาใช้ปูนฉาบสำเร็จรูปแทน

7.11.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการใช้งาน

1. รอยหลุม

ลักษณะของปัญหา	สาเหตุ
มีรอยตำหนิที่มีลักษณะเป็นรอยหลุมที่ผนัง ซึ่งรอยตำหนิชนิดนี้ไม่ค่อยจะพบเห็นบ่อยนัก และมีจำนวนน้อยมาก โดยทั่วไปจะมีขนาด ไม่เกิน 9 มิลลิเมตร	เกิดจากการขยายตัวของวัสดุปลอมปน ซึ่งแฝงอยู่ในส่วนผสมปูนฉาบ เช่น แบล็ดพีช, เม็ดถ่าน, เศษนิมเหล็ก, และเศษไม้ เป็นต้น โดยวัสดุปลอมปนนี้จะตกลงไปรวมกับส่วนผสมขณะทำการเตรียมวัสดุ หรือขณะทำการผสม หรือปนมากับทรายจากแหล่งทราย หลังจากฉาบผนังแล้ว เมื่อวัสดุปลอมปนได้รับความชื้น จะเกิดการขยายตัวในระยะแรกอาจมองไม่เห็น อาจต้องใช้เวลานานหลายปีจนกว่ารอยขยายตัวของปูนพองจนเกิดเป็นรอยหลุมบ่อได้

การแก้ไขชั่วคราว	การป้องกัน
ใช้วัสดุยารองที่ยึดหยุ่นได้ ปิดอัดเข้าไป เช่น ซีลีโคน หรืออคริลิก แล้วทาสีทับ	- ทำการร้อนทราาย เพื่อแยกวัสดุปลอมปนก่อนนำมาใช้งาน - หรือเปลี่ยนมาใช้ปูนฉาบสำเร็จรูปแทน

2. ผิวผนังเป็นฝุ่น หรือมีทรายร่วงลงมา เมื่อลูบผนังเบา ๆ

ลักษณะของปัญหา	สาเหตุ
เมื่อลูบผิวผนังเบาๆ จะมีฝุ่นติดมือ หรือมีเม็ดทรายร่วงลงมา	ผสมปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำในอัตราส่วนที่ไม่เหมาะสม ซึ่งอาจจะมาจากผสมปูนซีเมนต์น้อยเกินไป (ปูนจืด) หรือผสมน้ำมากเกินไปหรือช่างใช้วิธี “การลงฟองน้ำ” หรือการใช้ฟองน้ำดูดซับน้ำออกจากผนังแล้วบีบทิ้งไป เพื่อให้ผนังแห้งเร็วขึ้น โดยทั้งหมดนี้จะทำให้ในส่วนผสมปูนฉาบที่ได้นั้น มีเนื้อปูนซีเมนต์น้อยกว่าปกติ ทำให้การประสานระหว่างเม็ดทรายน้อยลง และการยึดเกาะผนังไม่ดีเท่าที่ควร
การแก้ไขชั่วคราว	การป้องกัน
เลาะเอาผิวผนังที่ฉาบไว้ออก และทำการฉาบใหม่ โดยใช้ส่วนผสมปูนฉาบที่ถูกต้อง แล้วฉาบอย่างถูกวิธี	เลือกใช้ช่างที่มีฝีมือและมีความชำนาญ และใช้วิธี “การบิ่นแห้ง” ด้วยเกรียงไม้ เพื่อให้ผิวผนังเนียนและแห้ง แทนที่วิธีการลงฟองน้ำ จะช่วยให้ปูนฉาบคงทน และไม่เปื้อน



รูปที่ 7-26 ผิวผนังเป็นฝุ่น

3. ผิวผนังหลุดออกมาเป็นแผ่น

ลักษณะของปัญหา	สาเหตุ
เวลาเคาะที่ผิวผนังจะได้ยินเสียงเป็นโพรง ผิวผนังหลุดออกมาเป็นแผ่นๆ แต่ไม่มีรอยแตกร้าวเกิดขึ้น	- ปูนฉาบไม่เกาะกับผนังอิฐ หรือผิวเสาหรือคาน คอนกรีต อันเนื่องมาจากผิวอาจสกปรก หรือแห้งเกินไป หรือเปียกเกินไป หรือผิวเรียบเกินไป ทำให้เนื้อปูนไม่สามารถเกาะติดได้ - หรือฉาบปูนหนาเกินไป
การแก้ไขชั่วคราว	การป้องกัน
ให้เลาะเอาผิวผนังที่ฉาบไว้ออก ทำความสะอาดผิวผนัง หรือ ทำผิวผนังให้มีความขรุขระมากขึ้น และทำการฉาบใหม่	- ทำความสะอาดผิวผนังก่อนทำการฉาบ หากผิวผนังเรียบเกินไป ทำร่องรอยให้ขรุขระเพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะ - รดน้ำผนังตอนเย็นก่อนทำการฉาบ 1 วัน และก่อนฉาบทำการรดน้ำอีกครั้ง ทิ้งผนังให้แห้งหมาดๆ ก่อนทำการฉาบ - ควบคุมการฉาบให้ได้ความหนาชั้นละไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร จำนวน 2 ชั้น รวมแล้วต้องหนา รวมไม่เกิน 2.5 เซนติเมตร



4. รอยแตกร้าวที่มุมวงกบประตู-หน้าต่าง



รูปที่ 7-27 ผนังแตกร้าวที่มุมวงกบหน้าต่างในแนวทแยง เนื่องจากไม่ได้เสริมตะแกรงกรงไก่

ลักษณะของปัญหา	สาเหตุ
เกิดรอยแตกร้าวในบริเวณต่างๆ เช่น มักเกิดรอยแตกร้าวที่มุมวงกบประตู-หน้าต่าง เป็นรอยเฉียงๆ พุ่งออกไปจากมุมของวงกบ มีมุมเดียวหรือครบทุกมุมจากวงกบก็ได้ ซึ่งลักษณะแบบนี้ไม่เป็นอันตราย แต่จะมีการรั่วซึมของน้ำเข้ามาในอาคาร ทำให้วงกบบิด บานประตูหน้าต่างคกราง ปิดเปิดยาก	- รอยแตกแบบนี้เกิดจากการการบิดตัวของวงกบเนื่องจากใช้วัสดุคุณภาพต่ำ หรือมีการยึดติดตัวของวงกบมากเกินไป ทำให้วงกบกับผนังขยายหรือหดตัวไม่เท่ากัน - หรือไม่ได้ทำเสาเอ็น หรือไม่ได้ทำคานทับหลัง หรือทำเสาเอ็น-คานทับหลังไม่ครบ หรือเสาเอ็นไม่ได้เชื่อมยึดกับคานบนคานล่าง หรือคานทับหลังไม่ได้เชื่อมกับเสาอาคาร - หรือความหนาของปูนฉาบบนผนังอิฐและบนเสาเอ็นหรือบนคานทับหลังหนาไม่เท่ากัน
การแก้ไขชั่วคราว	การป้องกัน
- รอยแตกร้าวขนาดเล็ก ใช้วัสดุยาเร่งที่ียึดหยุ่นได้ ฉีดอัดเข้าไปในร่อง เช่น ซิลิโคน หรืออคริลิก แล้วทาสีทับ - ถ้าเป็นรอยขนาดใหญ่ ต้องทำการสกัดรอยแตกนั้น แล้วอุดด้วยวัสดุที่ไม่หดตัว เช่น ปูนซีเมนต์พิเศษ Non-shrink Cement แล้วทำการฉาบปูนใหม่ - หากทำปูนซีเมนต์พิเศษไม่ได้ ให้สกัดรอยแตกนั้นออกให้คลุมรอยแตกออกไปประมาณข้างละ 2 นิ้ว ใส่ตะแกรงกรงไก่เข้าไปก่อนทำการฉาบกับใหม่	- ทำเสาเอ็นและคานทับหลังให้ถูกต้อง - เลือกวงกบที่มีคุณภาพดีไม่ยึดหดตัวมาก - การเสริมตะแกรงกรงไก่ รอบวงกบประตู-หน้าต่าง เพื่อป้องกันการแตกร้าว - เลือกปูนซีเมนต์และทรายที่มีคุณภาพ - ฉาบปูนบนผนังอิฐ เสาเอ็น และคานทับหลัง ให้หนาเท่าๆ กัน

5. รอยแตกร้าวแบบแผนที่

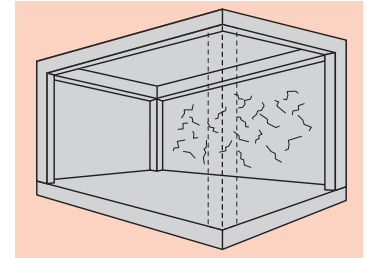


รูปที่ 7-28 ลักษณะรอยแตกร้าวแบบแผนที่

ลักษณะของปัญหา	สาเหตุ
รอยแตกร้าวแบบนี้จะไม่เด่นชัดมากเหมือนรอยแตกร้าวจากโครงสร้างหลัก ลักษณะของรอยแตก คือ เกิดเป็นกลุ่มๆ อาจมีหลายกลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วยรอยแตกเล็ก ๆ ทำมุมต่างกันไป และรอยแตกยาวประมาณ 15 เซนติเมตร	เกิดจากการยึดหดตัวที่แตกต่างกันระหว่างชั้นปูนฉาบ หรือเกิดจากการขยายตัวในระหว่างชั้นปูนฉาบ โดยบริเวณที่มีการยึดเกาะระหว่างชั้นน้อยที่สุด จะเป็นจุดรวมของการเกิดรอยแตก
การแก้ไขชั่วคราว	การป้องกัน
ใช้วัสดุยาเร่งที่ียึดหยุ่นได้ ฉีดอัดเข้าไปในร่อง เช่น ซิลิโคน หรืออคริลิก แล้วทาสีทับ	เลือกใช้วัสดุและส่วนผสมให้ทนทานต่อการยึดหดตัว และเพิ่มปริมาณทรายในส่วนผสม เนื่องจากส่วนผสมที่มีทรายมากสามารถทนต่อการยึดหดตัวได้ดีกว่า

6. รอยแตกร้าวแบบลายงา

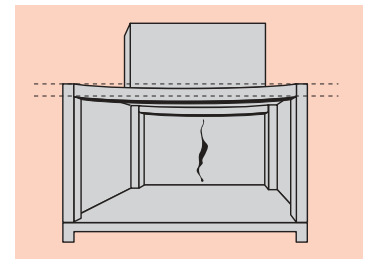
ลักษณะของปัญหา	สาเหตุ
มีรูปแบบเหมือนรอยแตกแบบแผนที่ แตกกระจายทั่วไป ความยาวของรอยแตกไม่เกิน 3 เซนติเมตร	- มีสาเหตุมาจากการหดตัวของผิวปูนฉาบชั้นนอกสุด เนื่องจากการสูญเสียน้ำมากและเร็วเกินไป - หรือการขัดแต่งผิว ขณะผิวหน้ายังไม่แข็งพอ ซึ่งเกิดจากความชำนาญของช่าง - ตื้น้ำเข้าเกินไป กล่าวคือ ปลอมให้ปูนฉาบแห้งไปแล้ว จึงค่อยตื้น้ำ - หรือปูนซีเมนต์ที่ใช้ มีคุณภาพไม่ดี
การแก้ไขชั่วคราว	การป้องกัน
ไม่ควรนำปูนซีเมนต์อุดรอย หรือโล่บางๆ เพราะจะหลุดร่วงลงมาอีก ควรให้ช่างสีผิวให้เรียบร้อยก่อน ทาสีใหม่กับลงไป	- เลือกใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่มีคุณสมบัติจับน้ำได้ดี - เลือกใช้ช่างที่มีฝีมือและความชำนาญ



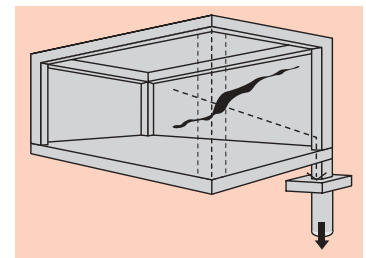
รูปที่ 7-29 ลักษณะรอยแตกร้าวแบบลายงา 3

7. รอยแตกร้าวที่ผ่นังจากสาเหตุการเคลื่อนตัวของโครงสร้างหลัก

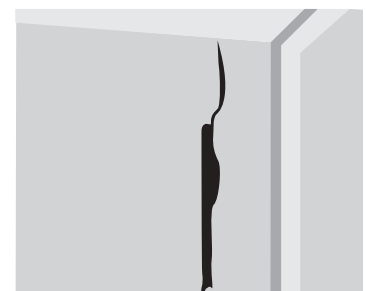
ลักษณะของปัญหา	สาเหตุ
มักเริ่มแตกจากมุมของวงกบประตู หรือ วงกบหน้าต่าง พาดผ่านเป็นทางยาวไปยังขอบของผนัง, หรือมักแตกออกจากมุมของผนัง หรือแตกแนวเฉียง ๆ จากมุมหนึ่งไปยังอีกมุมหนึ่ง (เช่น แตกจากมุมล่างซ้ายไปมุมบนขวา), หรืออาจแตกขนานไปกับแนวของเสาและคาน	เกิดจากการเคลื่อนตัวของโครงสร้างหลัก โดยการเคลื่อนตัวดังกล่าวอาจเกิดจากการแ่นตัวหรือการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน และถ่ายแรงจากโครงสร้างหลักมายังผิวผนังที่ฉาบไว้ ทำให้เกิดรอยแตกกว้างและยาว ซึ่งเห็นชัดเจนมาก
การแก้ไขชั่วคราว	การป้องกัน
- อาจช่วยได้ไม่นานเนื่องจากหากมีการเคลื่อนตัวของโครงสร้างหลัก ก็อาจเกิดรอยแตกร้าวซ้ำได้อีก - ทาการรอยแตกให้ใหญ่และอยู่ในตัวอาคาร ให้อุดรอยแยกด้วยวัสดุที่มีความยืดหยุ่น เช่น ซิลิโคน หรืออะคริลิก - ทาการรอยแตกเป็นพืดด้านนอก น้ำฝนสามารถรั่วซึมลงมาได้ ให้ทำปิกนิกเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กแผ่นยาง หรือ แผ่นสแตนเลสจากอาคารอื่น มาคลุมรอยแตกไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำรั่วซึมเข้าไป - ควรติดตามการแตกร้าว ว่ามีการแตกมากขึ้นถึงความยาวและความกว้างหรือไม่ โดยใช้ดินสอคาดกับปลายรอยแตก เขียนวันที่กำกับไป และใช้ดินสอลากแนวกว้างของรอยแตกต่อออกไปจากปลายให้มีขนาดเท่ารอยเดิม เมื่อเวลาผ่านไปทาการรอยแตกร้าวหยุดไม่ขยายออก ก็ไม่เป็นอันตรายอะไร แต่หากมีการลามอย่างรวดเร็ว ทั้งด้านยาวและด้านกว้าง จนบางครั้งอาจเห็นอิฐที่ใช้ในการก่อผนัง ให้รีบปรึกษาวิศวกรโครงสร้างทันที	- เพิ่มความสามารถในการต้านทานการรวมตัวของแรง โดยการเพิ่มความหนาของผิวผนังฉาบ และเพิ่มความแข็งแรงของผนังฉาบ โดยการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมลง หรือเพิ่มเนื้อปูนให้มากขึ้น - กำหนดรอยต่อของผนังปูนฉาบ เพื่อให้เป็นร่องในการแตกของผนัง เมื่อถูกถ่ายแรงจากโครงสร้างหลัก วิธีนี้ได้ผลดีแต่ไม่เป็นที่นิยมเพราะขาดความสวยงาม - ลดแรงที่ส่งผ่านจากโครงสร้างหลัก โดยการจัดให้มีโครงสร้างที่สามารถรับแรงได้เพียงพอ



ก) รอยแตกร้าวบริเวณกลางผนังในแนวตั้ง อันมีสาเหตุจากคานแ่นตัว



ข) รอยแตกร้าวบริเวณกลางผนังในแนวทแยง อันมีสาเหตุจากการทรุดตัวไม่เท่ากันของฐานราก



ค) รอยแตกร้าวบริเวณขอบเสา อันมีสาเหตุจากการทรุดตัวไม่เท่ากันของฐานราก

รูปที่ 7-30 รอยแตกร้าวที่ผ่นังจากสาเหตุการเคลื่อนตัวของโครงสร้างหลัก 3



มาตรฐานอ้างอิง

- มอก. 80-2517 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ผสม
- มอก. 1776-2542 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอร์ตาร์สำหรับฉาบ
- ASTM C 91-03 : Standard Specification for Masonry Cement

เอกสารอ้างอิง

- 1 เอกสารวิชาการของ บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, 2547.
- 2 ชนันต์ แดงประไพ, “วารสารข่าวช่าง : งานฉาบปูนที่มีคุณภาพ”, ปีที่ 25 ฉบับที่ 286, 2539.
- 3 ธเนศ วีระศิริ, “ประสบการณ์งานแก้ไขอาคารทรุดและยกอาคาร”, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2546.
- 4 ประณีต กุลประสูติ, “เทคนิคงานปูน-คอนกรีต”, 2535.
- 5 พงศ์พันธ์ วรสุนทรทโรสด , “วัสดุก่อสร้าง”, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น , 2521.
- 6 พิภพ สุนทรสมัย, “ช่างปูนก่อสร้าง”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2542.
- 7 พิภพ สุนทรสมัย, “วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2546.
- 8 สุพิชา วัฒน, “คุณภาพและสิ่งทำลายคุณภาพของงานปูนฉาบ”, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ปีที่ 4 ฉบับที่ 1, 2532.
- 9 ทมอportun, “วารสารข่าวช่าง : รอยแตกร้าวบนผนังหลังการฉาบ”, ปีที่ 22 ฉบับที่ 258, 2536.

คอนกรีตวัสดุสำหรับโครงสร้าง

บทที่ 8



รูปที่ 8-1 คอนกรีตเป็นวัสดุสำหรับโครงสร้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

บทคัดย่อ

คอนกรีต คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติหลายประการที่เหมาะสม

คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสมพื้นฐาน 2 ส่วน คือ

1. ซีเมนต์เพสต์ ได้แก่ ปูนซีเมนต์, น้ำ, และสารผสมเพิ่ม
2. มวลรวม ได้แก่ มวลรวมละเอียด หรือทราย, และมวลรวมหยาบ หรือ หินหรือกรวด

การทำคอนกรีตที่ดี จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้และความเข้าใจทางด้านคอนกรีตเทคโนโลยีขั้นพื้นฐาน ซึ่งจะช่วยให้สามารถเลือกใช้วัสดุผสมคอนกรีตได้อย่างเหมาะสม, เลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตได้อย่างถูกต้อง, รวมทั้งการควบคุมกระบวนการผลิตคอนกรีตที่ดีทุกขั้นตอน ทั้งนี้เพื่อจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติดีสม่ำเสมอ, สามารถทนในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการได้, มีความแข็งแรงและความคงทน, และที่สำคัญคือ ทำให้มีต้นทุนหรือราคาที่เหมาะสมอีกด้วย



รูปที่ 8-2 คอนกรีตสดที่ดี ควรมีความชื้นเพียงพอเหมาะกับการใช้งานมีเนื้อสม่ำเสมอ และไม่แยกตัว



รูปที่ 8-3 คอนกรีตแข็งตัวแล้วที่ดี ควรมีความแข็งแรงและความคงทนสูง



รูปที่ 8-4 การใช้ Lime มอर्टาร์สร้างปิรามิดที่อียิปต์ เมื่อประมาณ 4,600 ปีที่ผ่านมา 9



รูปที่ 8-5 สะพานสำหรับการส่งน้ำในสมัยโรมัน 7

8.1 คอนกรีตคืออะไร

คอนกรีต (Concrete) คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติหลายประการที่เหมาะสม อาทิเช่น สามารถหล่อขึ้นรูปร่างตามที่ต้องการได้, มีความคงทนสูง, ไม่ติดไฟ, สามารถเทหล่อได้ในสถานที่ก่อสร้าง, ตกแต่งผิวให้สวยงามได้, และที่สำคัญคือ มีราคาไม่แพง โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับราคาเหล็กรูปพรรณ

โดยทั่วไป คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสมพื้นฐาน 2 ส่วน คือ

1. ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) ได้แก่ ปูนซีเมนต์, น้ำ, และสารผสมเพิ่ม
2. มวลรวม (Aggregates) ได้แก่ มวลรวมละเอียด หรือทราย, และมวลรวมหยาบ หรือหิน หรือกรวด

เมื่อนำส่วนผสมต่าง ๆ เหล่านี้มาผสมกัน จะได้คอนกรีตที่คงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการได้ เรียกคอนกรีตในสภาพนี้ว่า “คอนกรีตสด (Fresh Concrete)” หลังจากนั้นคอนกรีตจะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งในเวลาต่อมา โดยจะมีกำลังหรือความแข็งแรงมากขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น และเมื่อมีคุณสมบัติผ่านข้อกำหนดงานคอนกรีตตามที่ออกแบบไว้ จึงจะสามารถเปิดใช้งานรับน้ำหนักได้ต่อไป เรียกคอนกรีตภายหลังการเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งแล้วนี้ว่า “คอนกรีตแข็งตัวแล้ว (Hardened Concrete)”

8.2 ประวัติคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันมาเป็นเวลาช้านาน จากหลักฐานพบว่ามีการใช้คอนกรีต ทำพื้นกระโจมของชาวประมงและพวกนักล่าสัตว์สมัยยุคหิน บริเวณริมฝั่งแม่น้ำดานูป ตั้งแต่ 7,600 ปีที่ผ่านมา หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาคอนกรีตอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปี	เหตุการณ์
5,100 ปี ก่อนพุทธกาล (5,600 ปี ก่อนคริสต์ศักราช)	• ใช้คอนกรีตเทพื้นกระโจม บริเวณริมฝั่งแม่น้ำดานูป
2,000 ปี ก่อนพุทธกาล (2,500 ปี ก่อนคริสต์ศักราช)	• ได้มีการพัฒนาการยึดเกาะก้อนหิน โดยการใช้ปูนขาว (Lime) ผสมกับน้ำ สำหรับการก่อสร้างปิรามิดในประเทศอียิปต์ • มีการใช้คอนกรีตบางประเภทในประเทศแถบอเมริกาใต้
500 ปี ก่อนพุทธกาล ถึงประมาณปี พ.ศ. 1000 (1,000 ปี ก่อนคริสต์ศักราช ถึงประมาณปี ค.ศ. 500)	• ชาวกรีกได้พัฒนาคอนกรีตขึ้นและพวกโรมันได้พัฒนาคอนกรีตต่อไป จนได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีสำหรับการก่อสร้างต่างๆ เช่น โคลิเซียม และ ห้องโถงขนาดใหญ่ (Dome of the Pantheon) ในประเทศอิตาลี เป็นต้น
หลังประมาณปี พ.ศ. 1000 (หลังประมาณปี ค.ศ. 500)	• สิ้นสุดยุคโรมัน ก็สิ้นสุดการใช้คอนกรีตเช่นกัน



รูปที่ 8-6 โคโลซีเยียมในประเทศอิตาลี 8



รูปที่ 8-7 Dome of the Pantheon 8



รูปที่ 8-8 Eddystone Lighthouse หรือ ประภาคารของ Smeaton 10

ปี	เหตุการณ์
พ.ศ. 2299 (ค.ศ. 1756)	- John Smeaton ได้ใช้หินปูนที่มีส่วนผสมของดินเหนียว แล้วนำมาเผา จากนั้นนำวัสดุที่ได้ไปใช้ในงานก่อสร้างประภาคาร Eddystone Lighthouse บริเวณช่องแคบอังกฤษ ซึ่งก่อสร้างแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2302 (ค.ศ. 1759) - การค้นพบของ Smeaton นี้ ทำให้เกิดการพัฒนาปูนซีเมนต์และคอนกรีตอย่างรวดเร็ว
พ.ศ. 2367 (ค.ศ. 1824)	- Joseph Aspdin ชาวอังกฤษได้ขอจดลิขสิทธิ์กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ โดยการเผาให้ความร้อนแก่หินปูนและดินเหนียวแล้วนำมาบดให้ละเอียด - ปูนซีเมนต์ที่ได้มีชื่อว่า "ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland Cement)" เพราะมีสีเหมือนหินบนเกาะพอร์ตแลนด์ในประเทศอังกฤษ - Joseph Aspdin ได้จัดตั้งหอบ้าปูนซีเมนต์ที่ Wakefield และนำปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้มาใช้ในโครงการก่อสร้างอุโมงค์ลอดแม่น้ำเทมส์ ในปี พ.ศ. 2371 (ค.ศ. 1828) - Aspdin ได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดาแห่งปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์สมัยใหม่
พ.ศ. 2378 (ค.ศ. 1835)	ได้มีการก่อสร้างบ้านคอนกรีตหลังแรกของโลกขึ้นในเมือง Kent ประเทศอังกฤษ มีลักษณะเป็นบ้าน 2 ชั้น
พ.ศ. 2397 (ค.ศ. 1854)	William Wilkinson ช่างก่อสร้างชาวเมือง Newcastle ได้จดลิขสิทธิ์ระบบคอนกรีตเสริมเหล็ก
พ.ศ. 2398 (ค.ศ. 1855)	Jean Loius Lambot ได้สร้างเรือคอนกรีต (Ferro Cement) ลำแรกของโลก โดยใช้คอนกรีตหุ้มบนเหล็กเสริมที่ขึ้นรูปไว้
พ.ศ. 2410 (ค.ศ. 1867)	Joseph Monier วิศวกรชาวฝรั่งเศสได้ทำคอนกรีตเสริมเหล็ก
พ.ศ. 2423 (ค.ศ. 1880)	ได้ค้นพบวิธีเผาปูนซีเมนต์โดย Rotary Kiln
พ.ศ. 2456 (ค.ศ. 1913)	ได้มีการจัดตั้งโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จแห่งแรก
พ.ศ. 2460 (ค.ศ. 1917)	D. Abrahams ได้พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ หรือ "W/C Ratio Law"



รูปที่ 8-9 ลักษณะหม้อเผาปูนซีเมนต์ในสมัยต้น ๆ 6 7



รูปที่ 8-10 อุโมงค์คอนกรีตลอดแม่น้ำเทมส์ 6



รูปที่ 8-11 คอนกรีตปั๊ม



รูปที่ 8-12 เหล็กgrupพรรณใช้สำหรับงานก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก

ปี	เหตุการณ์
พ.ศ. 2463-2493 (ค.ศ. 1920 - 1950)	พัฒนาข้อกำหนดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่างๆ เช่น ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็ว, ปูนซีเมนต์ทนซัลเฟต, ปูนซีเมนต์ลดความร้อน, และปูนซีเมนต์ผสม เป็นต้น
พ.ศ. 2468 (ค.ศ. 1925)	ได้พบวิธีการอัดคอนกรีตให้แน่นด้วยเครื่องจี้บยา (Vibrator) และมีการใช้คอนกรีตกับงานก่อสร้างทุกประเภท
พ.ศ. 2471 (ค.ศ. 1928)	ค้นพบการใช้คอนกรีตเบา (Lightweight Concrete)
พ.ศ. 2473 (ค.ศ. 1930)	Eugene Freyssinet ได้ค้นพบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete)
พ.ศ. 2481 (ค.ศ. 1938)	ได้ค้นพบ Air Entraining Admixture ซึ่งเหมาะสำหรับผสมในคอนกรีตที่ใช้งานในที่อุณหภูมิต่ำมาก
ตั้งแต่ พ.ศ. 2488 (ค.ศ. 1945)	ขยายการใช้คอนกรีตสำเร็จรูปมากยิ่งขึ้น
ตั้งแต่ พ.ศ. 2496 (ค.ศ. 1953)	มีการใช้น้ำยาผสมคอนกรีต
ตั้งแต่ พ.ศ. 2503 (ค.ศ. 1960)	เริ่มใช้คอนกรีตปัม
ตั้งแต่ พ.ศ. 2525 (ค.ศ. 1982)	ได้เกิดปัญหาเรื่องความคงทนของคอนกรีต และเริ่มมีการศึกษาในเรื่องนี้อย่างจริงจัง

8.3 คอนกรีตกับเหล็กgrupพรรณ

คอนกรีตและเหล็กgrupพรรณเป็นวัสดุพื้นฐานที่ใช้สำหรับงานโครงสร้าง วัสดุทั้งสองชนิด บางครั้งจะใช้รวมกัน แต่บางครั้งก็กลายเป็นวัสดุคู่แข่งซึ่งกันและกันเพราะวัสดุทั้งสองชนิดนี้สามารถทดแทนกันได้ แต่ก็มีข้อแตกต่างกัน ที่สำคัญคือ การผลิตเหล็กgrupพรรณทำในโรงงานที่มีการควบคุมอย่างใกล้ชิด คุณสมบัติต่าง ๆ จะถูกตรวจสอบอย่างละเอียดใน

ห้องปฏิบัติการ และมีใบรับรองคุณภาพจากโรงงานผู้ผลิต ดังนั้นผู้ออกแบบเพียงแต่กำหนดขนาดหน้าตัดของเหล็กให้เป็นไปตามมาตรฐานทั่วไปที่ใช้ และผู้ควบคุมการก่อสร้างก็มีหน้าที่ควบคุมให้การเชื่อม การต่อชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ เป็นไปตามข้อกำหนด

สำหรับหน่วยงานก่อสร้างที่ใช้คอนกรีตนั้น รูปการณ์จะแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง เพราะแม้ว่าคุณภาพของปูนซีเมนต์จะถูกควบคุมจากโรงงานผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด เช่นเดียวกับการควบคุมการผลิตเหล็ก แต่วัสดุในโครงสร้างคือ คอนกรีต ไม่ใช่ปูนซีเมนต์ การหล่อชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตต่าง ๆ จะกระทำ ณ หน่วยงานก่อสร้าง ดังนั้นคุณภาพของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับวัสดุองค์ประกอบ, ส่วนผสม, การผสม, การลำเลียง, การเทและการอัดแน่น, การแต่งผิวหน้า, การบ่ม, รวมไปถึงการถอดแบบหล่อ จะเห็นได้ชัดเจนว่าความสำคัญของการควบคุมคุณภาพคือข้อแตกต่างระหว่างวิธีการผลิตเหล็กกับคอนกรีต คุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตและเหล็ก แสดงไว้ใน ตารางที่ 8-1

วัสดุ	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลังดึง (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสยืดหยุ่น (E) ส.ป.ส. (กก./ตร.ซม.)	การขยายตัว ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	การนำความร้อน (W/m.k)
• คอนกรีต	2,300 - 2,400	30	2.5×10^5	10	3
• เหล็ก					
- ท่อไป	7,800	3,000	2.1×10^6	12	50
- กำลังสูง	7,800	10,000	2.1×10^6	11	45

ตารางที่ 8-1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตกับเหล็ก

8.4 ทนทานและคุณสมบัติของส่วนผสม

1. ซีเมนต์เพสต์

หน้าที่ของซีเมนต์เพสต์มีดังนี้	คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ขึ้นอยู่กับ
• เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม • หล่อชิ้นคอนกรีตสดขณะเทหล่อ • ให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำ	• คุณภาพของปูนซีเมนต์ • อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ • ความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์หรือที่เรียกว่า “ปฏิกิริยาไฮเดรชัน”

2. มวลรวม

มวลรวมผสมคอนกรีต แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ มวลรวมละเอียด (หรือทราย), และมวลรวมหยาบ (หรือหินหรือกรวด)

หน้าที่ของมวลรวมมีดังนี้	คุณสมบัติของมวลรวมที่สำคัญ
• เป็นตัวแทรกประสานที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์และมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ • ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก	• มีความแข็งแรง • การเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่ำ • คงทนต่อปฏิกิริยาเคมี • มีความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี



3. น้ำ

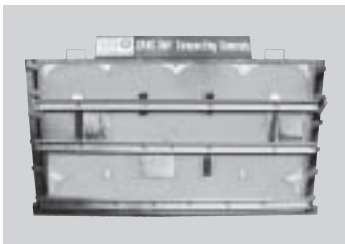
หน้าที่หลักของน้ำสำหรับงานคอนกรีตมี 3 ประการ คือ	หน้าที่หลักของน้ำในฐานะที่ใช้ผสมทำคอนกรีตยังแบ่งได้อีก 3 ประการ
• ใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่าง ๆ • ใช้ผสมทำคอนกรีต • ใช้บ่มคอนกรีต	• ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปูนซีเมนต์ • ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้ • เคลือบมวลรวม (หินหรือกรวด และทราย) ให้เปียก เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์สามารถเข้าเกาะได้โดยรอบ

4. สารผสมเพิ่ม

หน้าที่สำคัญของสารผสมเพิ่ม คือ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตสดหรือคอนกรีตแข็งตัวแล้วในด้านต่าง ๆ เช่น เวลาการก่อตัว, ความสามารถเทได้, กำลังอัด, และความคงทน เป็นต้น

8.5 ข้อดีและข้อเสียของคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้กันอย่างมากเนื่องจากความสามารถในการนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง แต่การนำคอนกรีตไปใช้งานก็ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดบางประการด้วยดังใน ตารางที่ 8-2 ซึ่งได้สรุปข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของคอนกรีตไว้



รูปที่ 8-13 คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถหล่อขึ้นรูปร่างตามที่ต้องการได้

ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1) สามารถหล่อขึ้นรูปร่างตามที่ต้องการได้	1) ความสามารถรับแรงดึงต่ำ
2) ราคาถูก	2) มีความยืดตัวต่ำ
3) มีความคงทนสูง	3) มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร
4) ทนไฟได้ดี, ไม่ไหม้ไฟ	4) มีอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักต่ำ
5) สามารถเทหล่อได้ในสถานที่ก่อสร้าง	
6) สามารถทำให้ผิวสวยงามได้	

ตารางที่ 8-2 ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของคอนกรีต

8.6 คอนกรีตที่ดีกับคอนกรีตที่ไม่ดี

คอนกรีตที่ดี คือ คอนกรีตที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตสดและคอนกรีตแข็งตัวแล้วเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานตามต้องการ และมีต้นทุนหรือราคาที่เหมาะสม

ในสภาพคอนกรีตสด (ภายหลังการผสม, การลำเลียงคอนกรีตจากเครื่องผสมไปยังจุดเท, การเทลงแบบหล่อและการอัดแน่น, และการแต่งผิวหน้า) ควรมีความชื้นเหลวเหมาะสมกับการเทและการอัดแน่นคอนกรีต โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากเครื่องจักรหรือแรงงานคนมากนัก มีเนื้อคอนกรีตสม่ำเสมอ มีการยึดเกาะกันอย่างพอเพียง ไม่มีการแยกตัวขององค์ประกอบต่าง ๆ ในคอนกรีต (เช่น การแยกตัวของหินหรือกรวดกับน้ำปูน) และไม่เกิดการเยิ้มขึ้นมาของน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีตมากเกินไป

ในสภาพคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ควรมีความแข็งแรงและความคงทน สามารถรับน้ำหนักหรือมีกำลังอัดตามที่ออกแบบไว้ได้อย่างปลอดภัยตลอดช่วงอายุการใช้งาน และควรมีคุณสมบัติอื่นๆ ที่ดีอีกด้วย เช่น ความหนาแน่น, กำลังอัด, กำลังดึง, การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง, ความชื้นน้ำ, ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี, และความคงทนต่อการกัดกร่อนจากสารซัลเฟต เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่าง ๆ นอกจากนี้ บางโครงสร้างยังต้องการผิวคอนกรีตที่เรียบและมีช่องว่างอากาศที่ผิวน้อยที่สุดอีกด้วย

คอนกรีตที่ไม่ดี คือ คอนกรีตที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน โดยทั่วไปคอนกรีตที่ไม่ดีมักมีความชื้นเหลวไม่เหมาะสมกับการใช้งาน และเมื่อแข็งตัวแล้วอาจมีรูโพรงหรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งโครงสร้าง



รูปที่ 8-14 การเทคอนกรีตอย่างถูกวิธีเป็นหนึ่งขั้นตอนสำคัญในการทำคอนกรีตที่ดี



รูปที่ 8-15 คอนกรีตที่ไม่ดี ในสภาพที่เป็นคอนกรีตสดเกิดการแยกตัวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ

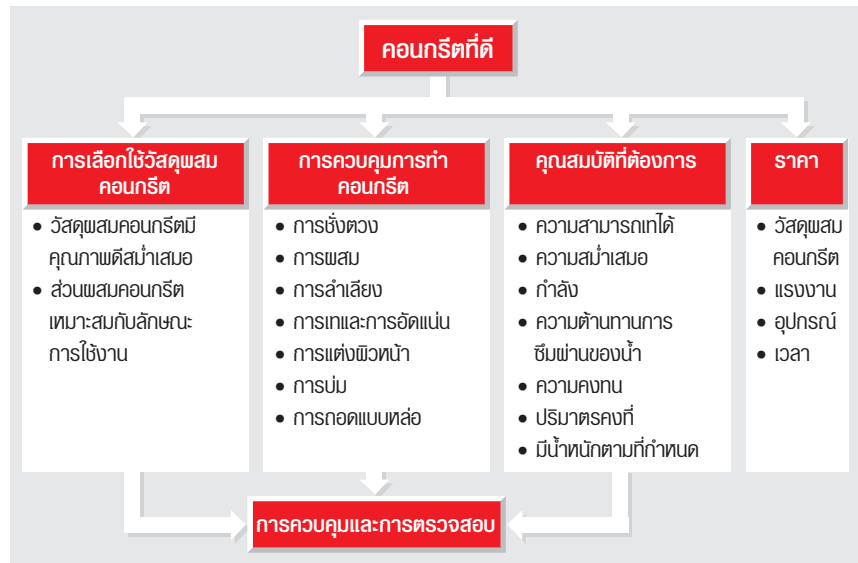
8.7 ปัจจัยในการทำคอนกรีตที่ดี

การทำคอนกรีตที่ดีนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้และความเข้าใจทางด้านคอนกรีตเทคโนโลยีขั้นพื้นฐาน ซึ่งจะช่วยให้สามารถเลือกวัสดุผสมคอนกรีตได้อย่างเหมาะสม, เลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตได้อย่างถูกต้อง, รวมทั้งการควบคุมกระบวนการผลิตคอนกรีตที่ดีทุกขั้นตอน ทั้งนี้เพื่อจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติดีสม่ำเสมอ, สามารถเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการได้, มีความแข็งแรงและความคงทน, และที่สำคัญคือ ทำให้มีต้นทุนหรือราคาที่เหมาะสมอีกด้วย

กระบวนการทำคอนกรีตโดยทั่วไปอาจเรียงลำดับขั้นตอนได้ดัง **ตารางที่ 8-3**

ขั้นตอนที่ 1	การเลือกใช้วัสดุผสมคอนกรีตที่เหมาะสม
ขั้นตอนที่ 2	การเลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตอย่างถูกต้อง
ขั้นตอนที่ 3	การชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีตอย่างแม่นยำ
ขั้นตอนที่ 4	การผสมคอนกรีตให้ป็นเนื้อสม่ำเสมอ
ขั้นตอนที่ 5	การลำเลียงคอนกรีตจากเครื่องผสมไปยังจุดเทอย่างระมัดระวัง
ขั้นตอนที่ 6	การเทคอนกรีตอย่างถูกวิธี
ขั้นตอนที่ 7	การอัดแน่นคอนกรีตที่ดี
ขั้นตอนที่ 8	การแต่งผิวหน้าคอนกรีตอย่างถูกต้อง
ขั้นตอนที่ 9	การบ่มคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง
ขั้นตอนที่ 10	การถอดแบบหล่อคอนกรีตตามเวลาที่เหมาะสม

ตาราง 8-3 10 ขั้นตอนในการทำคอนกรีตที่ดี



รูปที่ 8-16 ปัจจัยในการทำคอนกรีตที่ดี

8.8 คอนกรีตเทคโนโลยีสมัยใหม่

ในปัจจุบัน ความก้าวหน้าของคอนกรีตเทคโนโลยีสมัยใหม่ สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่

- เทคโนโลยีด้านการลดต้นทุนวัสดุและการก่อสร้าง
- เทคโนโลยีด้านความคงทนของคอนกรีต
- เทคโนโลยีด้านความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ประเทศที่พัฒนาแล้วได้ให้ความสำคัญกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานอย่างจริงจัง มีการใช้ข้อกำหนดมาตรฐานที่ทันสมัยซึ่งกำหนดคุณสมบัติหรือสมรรถนะของคอนกรีตที่ต้องการสำหรับแต่ละสภาพการใช้งาน (Standard Performance Specification) (เช่น ความต้านทานของคอนกรีตต่อการซึมผ่านของคลอไรด์, การหดตัวของคอนกรีต, และการคายความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีต เป็นต้น) แทนที่ข้อกำหนดมาตรฐานเดิมที่มีการกำหนดส่วนผสมหรือองค์ประกอบของวัสดุ (Standard Prescriptive) (เช่น การกำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสม เป็นต้น) และยังมีการพัฒนาวิธีการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตไปสู่วิธีการออกแบบตามสมรรถนะของคอนกรีตที่ต้องการ (Performance Based Design for Concrete Mixture)

ในส่วนของประเทศไทยในปัจจุบันนั้น ความก้าวหน้าของคอนกรีตเทคโนโลยีเป็นผลมาจาก

1. การนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ : มีการประยุกต์ใช้เทคนิควิธีการก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพสูงจากต่างประเทศ และมีการนำเอาเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ทันสมัยมาใช้



รูปที่ 8-17 โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จแบบแนวตั้ง มีการเก็บวัตถุดิบไว้ในไซโล จึงช่วยป้องกันปัญหาฝุ่นละอองในอากาศ ถือเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2. การศึกษาวิจัยและพัฒนาภายในประเทศ : ในปัจจุบันมีอาจารย์และนักวิจัยจำนวนมากภายในประเทศทั้งจากภาครัฐและภาคเอกชน ที่ให้ความสนใจในการศึกษาวิจัยและพัฒนาคอนกรีตเทคโนโลยีในระดับสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเรื่อยมา ซึ่งการทำวิจัยและพัฒนาถือเป็นเรื่องที่มีความสำคัญในการนำพาอุตสาหกรรมคอนกรีตของประเทศไทยให้เกิดประสิทธิภาพคุ้มค่าในเชิงเศรษฐกิจ

ตัวอย่างของคอนกรีตสมัยใหม่ในประเทศไทยที่ได้รับการออกแบบตามสมรรถนะ เช่น คอนกรีตกำลังสูง, คอนกรีตความร้อนต่ำ, คอนกรีตกันซึม, คอนกรีตทนน้ำเค็ม-ดินเค็ม, คอนกรีตทนซัลเฟต, คอนกรีตบดอัด, และคอนกรีตไหลเข้าแบบง่าย เป็นต้น



รูปที่ 8-18 การก่อสร้างอาคารสูงในประเทศไทยโดยใช้คอนกรีตกำลังสูง

เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, “คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 บริษัทปูนซิเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, “10 ขั้นตอนในการทำคอนกรีตที่ดี ตอนที่ 1”, 2546.
- 3 บริษัทปูนซิเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, “10 ขั้นตอนในการทำคอนกรีตที่ดี ตอนที่ 2”, 2546.
- 4 พิกพ สุทรสมัย, “วัสดุวิศวกรรมก่อสร้าง”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.
- 5 เอกสิทธิ์ ลัมสุวรรณ, “การพัฒนาที่ยั่งยืนในงานคอนกรีตของไทย”, การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1, พฤษภาคม 2546.
- 6 A. J. Francis, “The Cement Industry 1796 - 1914 : A History”, 1977.
- 7 Carlo Gorla, “Cemento Storia Tecnologia Applicazioni”.
- 8 Leonardo B. Dal Maso, “Rome of the Caesars”.
- 9 Nigel Hawkes, “Structures : Man-Made Wonders of the World”, The Reader's Digest Association Limited, 1991 .
- 10 www.cyberheritage.co.uk



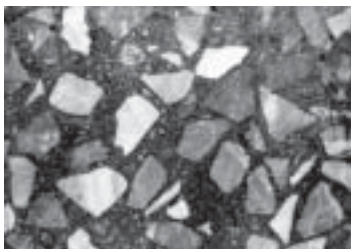
รูปที่ 9-1 การกองเก็บมวลรวมในโรงงานอุตสาหกรรมคอนกรีต

บทคัดย่อ

มวลรวม คือ วัสดุละเอียด ที่ใช้เป็นวัสดุแทรกในคอนกรีต เช่น หิน, กรวด, และทราย เป็นต้น มวลรวมเป็นวัสดุผสมคอนกรีตที่มีปริมาตรประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของคอนกรีต มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุผสมอื่น ๆ จึงทำให้คอนกรีตมีต้นทุนหรือราคาต่ำลง และมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งในสภาพสดและแข็งตัวแล้ว โดยพื้นฐานจะเป็นตัวกำหนด หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight), โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity), และ ความคงตัวของปริมาตร (Volume Stability) ของคอนกรีต

คุณภาพของมวลรวมมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตอย่างมาก จึงมีความจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องให้ความสำคัญกับมวลรวมไม่น้อยไปกว่าปูนซีเมนต์

การเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสม ไม่เพียงแต่เป็นการประหยัด แต่ยังช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้น มวลรวมผสมคอนกรีตที่ดี ควรมีคุณสมบัติพื้นฐานที่ดี คือ มีความแข็งแรงสูง, ไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบในปูนซีเมนต์, ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อเสถียรภาพทางปริมาตรของคอนกรีต, ไม่มีสิ่งเจือปนที่เป็นอันตรายต่อกำลังและความคงทนของคอนกรีต, และมีรูปร่างและขนาดผละที่เหมาะสม



รูปที่ 9-2 มวลรวมเป็นวัสดุผสมคอนกรีตที่มีมากถึง 3 ใน 4 ส่วนของปริมาตรคอนกรีต

9.1 บทนำ

มวลรวม (Aggregates) คือ วัสดุหยาบ ที่ใช้เป็นวัสดุแทรกในคอนกรีต เช่น หิน, กรวด, และทราย เป็นต้น ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคอนกรีต เนื่องจากมวลรวมมีปริมาตรมากถึง 70 - 80% ของปริมาตรคอนกรีตทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่น่าเป็นที่สงสัยเลยว่าทำไมคุณภาพของมวลรวมมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตอย่างมาก จึงมีความจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงมิได้ที่จะต้องให้ความสำคัญกับมวลรวมไม่น้อยไปกว่าปูนซีเมนต์

มวลรวมเป็นวัสดุผสมที่มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุผสมอื่น ๆ จึงมีการนำมวลรวมมาใช้เป็นวัสดุแทรกในคอนกรีต โดยกระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีต

มวลรวมที่นำมาใช้ผสมทำคอนกรีต มากกว่า 90% เป็นมวลรวมที่เกิดจากธรรมชาติ ส่วนที่เหลือเป็นมวลรวมที่ทำจากวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม (Industrial By-products) เช่น เถ้าลอย (Fly Ash), Blast-furnace Slag, ของเสียจากชุมชน (Municipal Waste), และ Recycled Concrete เป็นต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของมวลรวม ได้แก่ กระบวนการเกิดหินแม่ (Parent Rock) ทางธรณีวิทยา, องค์ประกอบทางแร่วิทยา, สภาพแวดล้อมที่สัมผัส, และกระบวนการแปรรูปทางอุตสาหกรรมในการผลิตมวลรวม

มวลรวมไม่ได้เป็นเพียงวัสดุหยาบหรือวัสดุแทรกในคอนกรีตเท่านั้น แต่ยังมีความสำคัญอื่น ๆ อีก ได้แก่

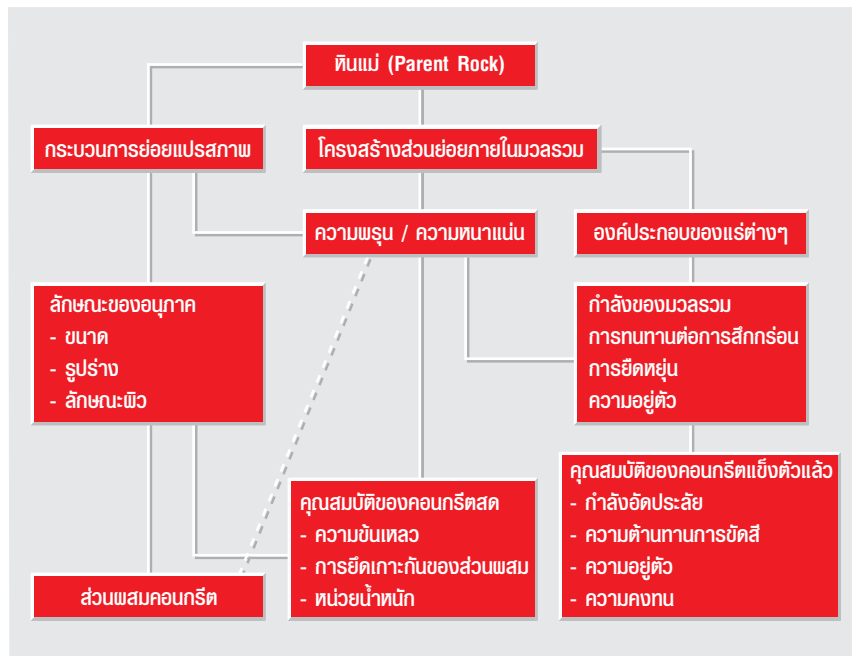
1. **ทำให้คอนกรีตมีต้นทุนหรือราคาต่ำลง** : มวลรวมเป็นวัสดุผสมคอนกรีตที่มีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมและการเลือกใช้มวลรวมที่มีคุณภาพดีจะช่วยลดปริมาณปูนซีเมนต์ให้น้อยลง มีผลให้ต้นทุนหรือราคาคอนกรีตลดลง
2. **มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีต** : โดยพื้นฐาน คุณสมบัติของมวลรวมเป็นตัวกำหนด หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight), โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity), และความคงตัวของปริมาตร (Volume Stability) ของคอนกรีต นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติของมวลรวมอีกหลายประการที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งในสภาพสดและแข็งตัวแล้ว

คุณสมบัติของมวลรวมที่สำคัญ ได้แก่ ความพรุน (Porosity), ขนาดคละ หรือ การกระจายของขนาด (Grading or Size Distribution), การดูดซึมความชื้น (Moisture Absorption), รูปร่างและลักษณะผิว (Shape and Surface Texture), กำลังวัสดุ (Crushing Strength), และชนิดของสารเจือปนที่เป็นอันตราย (Type of Deleterious Substances)

ผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด เช่น ความชื้นเหลว (Consistency), และการยึดเกาะกัน (Cohesion)

ผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว เช่น กำลัง (Strength), ความต้านทานการขัดสี (Abrasion Resistance), และความคงทน (Durability)

ดังนั้น การเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสม ไม่เพียงแต่เป็นการประหยัด แต่ยังคงช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นด้วย มวลรวมที่ดีซึ่งจะส่งผลให้คอนกรีตมีความคงทนสูง ควรมີคุณสมบัติพื้นฐานที่ดี ดังนี้ คือ มีความแข็งแรงสูง, ไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบในปูนซีเมนต์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อเสถียรภาพทางปริมาตรของคอนกรีต, ไม่มีสิ่งเจือปนที่มีผลเสียต่อกำลังและความคงทนของคอนกรีต, และมีรูปร่างและขนาดคละที่เหมาะสม



รูปที่ 9-3 แผนภาพแสดงให้เห็นว่า โครงสร้างภายในเนื้อมวลรวมและกระบวนการย่อยแปรสภาพจะเป็นตัวพิจารณาคุณสมบัติของมวลรวม ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

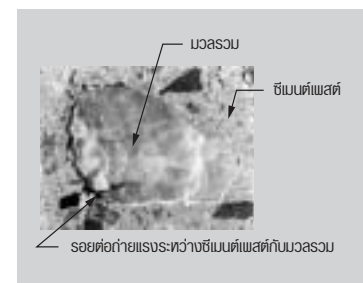
9.2 โครงสร้างของเฟสมวลรวม

การแบ่งองค์ประกอบตามโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ของคอนกรีตซึ่งถือเป็นวัสดุคอมโพสิต (Composites) หรือวัสดุที่ประกอบขึ้นมาจากหลายวัสดุหรือหลายเฟส (Phases) ที่มนุษย์สร้างขึ้นนั้น เฟสมวลรวมถือเป็นโครงสร้างวัสดุแทรกหรือหนึ่งในสามเฟสสำคัญของโครงสร้างของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว อันได้แก่ เฟสเมตริกซ์ (Matrix Phase) หรือ ซีเมนต์เพสต์ (Hydrated Cement Paste), เฟสวัสดุแทรก (Filler Phase) หรือ มวลรวม (Aggregates), และเฟสรอยต่อถ่ายแรงระหว่างซีเมนต์เพสต์กับมวลรวม (Interface หรือ Transition Zone)

โดยทั่วไป เฟสมวลรวมเป็นเฟสที่มีกำลังสูงสุด จึงไม่มีผลกระทบต่อการรับกำลังของคอนกรีตแข็งตัวแล้วเหมือนเฟสซีเมนต์เพสต์และเฟสรอยต่อถ่ายแรง ยกเว้นในกรณีต่อไปนี้ กรณีหินผุหรือหินพรุน มีผลให้คอนกรีตมีกำลังต่ำกว่าปกติ

กรณีมวลรวมเบา (Lightweight Aggregate) ซึ่งใช้เป็นมวลรวมผสมในการทำคอนกรีตมวลเบา (Lightweight Aggregate Concrete) มีผลให้คอนกรีตมีกำลังต่ำกว่าคอนกรีตที่มีน้ำหนักปกติ (Normal-weight Concrete)

กรณีคอนกรีตกำลังสูงมาก (Very High Strength Concrete) กำลังของเฟสมวลรวมจะมีผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตด้วย



รูปที่ 9-4 โครงสร้างของเฟสมวลรวม



9.3 การจำแนกประเภทของมวลรวม

มีหลายวิธีในการจำแนกประเภทของมวลรวม ดังนี้

● การจำแนกประเภทของมวลรวมตามขนาด

1. มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)

หินหรือกรวดที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร (ค้ำอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4) โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มวลผสมคอนกรีต หรือ มอก. 566 ยอมให้มวลรวมหยาบมีส่วนที่ละเอียดกว่านี้ผสมอยู่ได้บ้าง

2. มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)

ทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร หรือ ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ไม่เล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) โดยมาตรฐาน มอก. 566 ยอมให้มวลรวมละเอียดมีส่วนที่หยาบกว่านี้ผสมอยู่ได้บ้าง

ส่วนที่มีขนาดเล็กกว่ามวลรวมละเอียด ซึ่งมีอยู่ปริมาณน้อยมากในมวลรวม สามารถแบ่งได้เป็น

Silt มีขนาดประมาณ 0.07 มิลลิเมตร และ

Clay มีขนาดอยู่ในช่วง 0.02 - 0.06 มิลลิเมตร

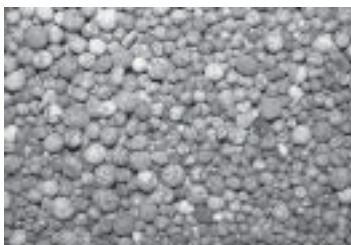
ส่วนคำว่า “มวลรวมคละ (All-In-Aggregate)” นั้นหมายถึง มวลรวมที่ประกอบด้วยมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด



รูปที่ 9-5 มวลรวมหยาบ เช่น หินย่อย



รูปที่ 9-6 มวลรวมละเอียด เช่น ทราย



รูปที่ 9-7 มวลรวมเบา



รูปที่ 9-8 มวลรวมหนัก

● การจำแนกประเภทของมวลรวมตามน้ำหนัก

1. มวลรวมเบา (Lightweight Aggregate)

มวลรวมที่มีความหนาแน่นแบบคิวทวลม (Bulk Density) น้อยกว่า 1,120 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.3 - 1.1)

2. มวลรวมปกติ (Normal-weight Aggregate)

ได้แก่ หินย่อย, กรวด, และทราย มีความหนาแน่นแบบคิวทวลม (Bulk Density) อยู่ในช่วงประมาณ 1,300 - 1,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.4 - 3.0) และทำให้คอนกรีตที่มีน้ำหนักตามปกติ (Normal-weight Concrete) มีหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ประมาณ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3. มวลรวมหนัก (Heavyweight Aggregate)

มวลรวมที่มีความหนาแน่นแบบคิวทวลม (Bulk Density) มากกว่า 2,080 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 4.0)

● การจำแนกประเภทของมวลรวมตามแหล่งกำเนิด

1. มวลรวมที่เกิดจากธรรมชาติ (Natural Mineral Aggregate)

เป็นมวลรวมที่เกิดจากกระบวนการตามธรรมชาติ ได้แก่ หิน, กรวด, และทราย

2. มวลรวมสังเคราะห์ (Artificial Aggregate หรือ Synthetic Aggregate)

เป็นวัสดุที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน เช่น Expanded Clay ที่ใช้ทำมวลรวมเบา (Lightweight Aggregate), มวลรวมที่ทำจากผลพลอยได้จาก

อุตสาหกรรม (Industrial By-products) (เช่น Blast-furnace Slag, เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นต้น), มวลรวมที่ทำจากของเสียจากชุมชน, และมวลรวมที่เกิดจากการนำซากอาคารและถนนคอนกรีตกลับมาใช้ใหม่ (Recycled Concrete) เป็นต้น

9.4 หินที่นำมาใช้ผสมคอนกรีต

มวลรวมที่เกิดจากธรรมชาติเป็นกลุ่มมวลรวมที่สำคัญที่สุดในการทำคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

หิน (Rock) คือ อนินทรีย์สารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ประกอบด้วยแร่ตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป หินบางชนิดอาจมีแร่เด่นเพียงชนิดเดียว และมีแร่อื่นผสมอยู่บ้างในปริมาณน้อยมาก

แร่ (Mineral) คือ ธาตุหรือสารประกอบทางเคมีของอนินทรีย์สารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากกระบวนการอนินทรีย์ โดยที่มีส่วนประกอบทางเคมีและระบบผลึกที่ค่อนข้างแน่นอน

การจำแนกประเภทของหินตามการกำเนิดจากธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ หินอัคนี, หินตะกอนหรือหินชั้น, และหินแปร โดยมีการแบ่งเป็นกลุ่มย่อย ๆ อีกตามองค์ประกอบทางแร่วิทยา, องค์ประกอบทางเคมี, ลักษณะเนื้อหิน, ขนาดเม็ดแร่, และโครงสร้างผลึก

หินที่สามารถนำมาผสมคอนกรีต จะต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ ในประเทศไทยมีการนำหินชนิดต่าง ๆ มาใช้ผสมคอนกรีต ได้แก่

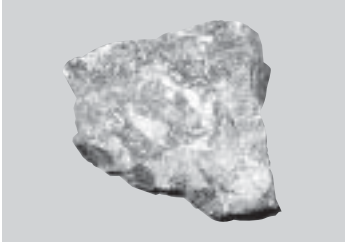
● หินตะกอน หรือหินชั้น (Sedimentary Rock)

หินตะกอน หรือหินชั้น เป็นหินที่มีมากถึง 75% ของหินที่โผล่ให้เห็นบนผิวโลก ส่วนมากเป็น หินดินดาน (Shale) รองลงมาคือ หินทราย (Sandstone) และหินปูน (Limestone)

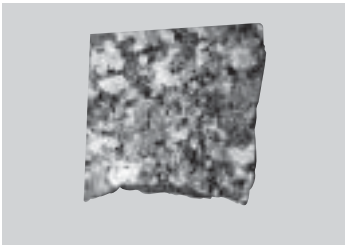
หินตะกอนเกิดจากการสลายตัวของหินชนิดใด ๆ ก็ได้ ทางเคมีหรือทางกายภาพ จนหลุดเป็นตะกอนที่มีลักษณะร่วนไม่อัดตัวของเศษหิน ตะกอนเกิดการทับถม และผ่านกระบวนการแข็งตัว (Lithification) ที่อุณหภูมิและความดันธรรมดา กลายเป็นหินตะกอนเมื่อทับถมกันมาก ๆ ก็เกิดเป็นชั้น (Bed) หลาย ๆ ชั้นรวมกันเป็นชั้นหินหรือสตราตัม (Stratum) หลาย ๆ สตราตัมรวมกันเรียกว่า สตราตา (Strata)

ลักษณะเด่นของหินตะกอน คือ มีลักษณะเป็นชั้น ๆ แร่ในหินมีการคัดขนาดและลบเหลี่ยมมุมไปบ้าง มีแร่ควอร์ตซ์และแคลไซต์มากในหิน มีแร่ที่เกิดจากการตกตะกอนจากสารละลายปนมา เช่น ยิปซัม, และเฮไลต์ อาจพบซากดึกดำบรรพ์ปนอยู่ในหิน, และเป็นหินที่พบบ่อยและคุ้นเคยมากกว่าหินชนิดอื่น ๆ

หินตะกอนที่นิยมใช้ผสมคอนกรีต ได้แก่ **หินปูน (Limestone)** ซึ่งเกิดจากการทับถมตัวของซากสัตว์ทะเล เป็นชนิดหินที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากมีภูเขาหินปูนกระจายอยู่ทั่วประเทศ โดยมีแหล่งผลิตที่สำคัญอยู่แถบจังหวัดสระบุรี, ราชบุรี, ชลบุรี, กำแพงเพชร, ลำปาง, เลย, และนครศรีธรรมราช



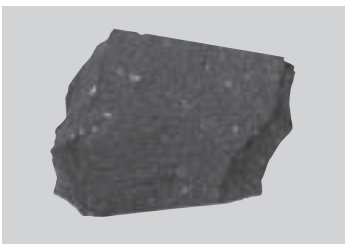
รูปที่ 9-9 หินอัคนี



รูปที่ 9-10 หินแกรนิต 7



รูปที่ 9-11 หินแอนดีไซต์



รูปที่ 9-12 หินบะซอลต์ 7



รูปที่ 9-13 กรวด

● หินอัคนี (Igneous Rock)

หินอัคนีเกิดจากหินหนืดหรือลาวาเย็นตัวแล้วแข็งตัวตกผลึก (Crystallization) มีลักษณะเด่น คือ เม็ดแร่จับประสานตัวกันแน่น (Interlocking), มีความพรุนต่ำ, เนื้อหินสมานแน่น (Massive), ผลึกหน้าตัดเป็นรูปทรงแท่งเหลี่ยม (Columnar Jointing), มีแร่เฟลด์สปาร์สูง, และบางส่วนของเนื้อหินจะมีแก้วธรรมชาติปนอยู่

หินอัคนีมีความแข็งแกร่งกว่าหินปูนแต่ไม่มีผู้ผลิตมากนัก เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตและค่าสีหรือสูง มักจะผลิตในท้องถิ่นที่ไม่สามารถหาแหล่งหินปูนได้ หินอัคนีที่มีการผลิตในประเทศ ได้แก่ หินแกรนิต (Granite) มีแหล่งผลิตอยู่ที่จังหวัดชลบุรี, ระยอง, ตาก, ปราจีนบุรี, สงขลา, และสุราษฎร์ธานี, หินแอนดีไซต์ (Andesite) มีแหล่งผลิตแถบจังหวัดสระบุรี, เพชรบุรี, และสระแก้ว, หินบะซอลต์ (Basalt) มีแหล่งผลิตแถบจังหวัดสุรินทร์, บุรีรัมย์, และศรีสะเกษ

● กรวด (Gravel)

กรวด (Gravel) เกิดจากการผุพังของหินอัคนีที่พบอยู่ทั่วไปตามแม่น้ำลำธาร สามารถนำมาผสมคอนกรีตได้ดีเท่าหินชนิดอื่น โดยนำมาบดให้มีขนาดและส่วนคละตามมาตรฐานในประเทศไทยยังไม่นิยมใช้กรวดในการผสมคอนกรีตมากนัก แต่อุตสาหกรรมคอนกรีตในประเทศสหรัฐอเมริกา ประมาณครึ่งหนึ่ง ใช้กรวดเป็นมวลรวมหยาบ ส่วนที่เหลือเป็นหินย่อยจำพวกคาร์บอนีตประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของหินย่อย และที่เหลือเป็น หินทราย, หินแกรนิต, หินไดโอไรต์, หินแกบโบร, และหินบะซอลต์

9.5 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

การนำหินจากธรรมชาติมาใช้นั้น จำเป็นต้องมีการแปรรูปให้มีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน ซึ่งมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สำรวจหาแหล่งหินที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน จากนั้นจึงขอสัมปทานของพื้นที่นั้น

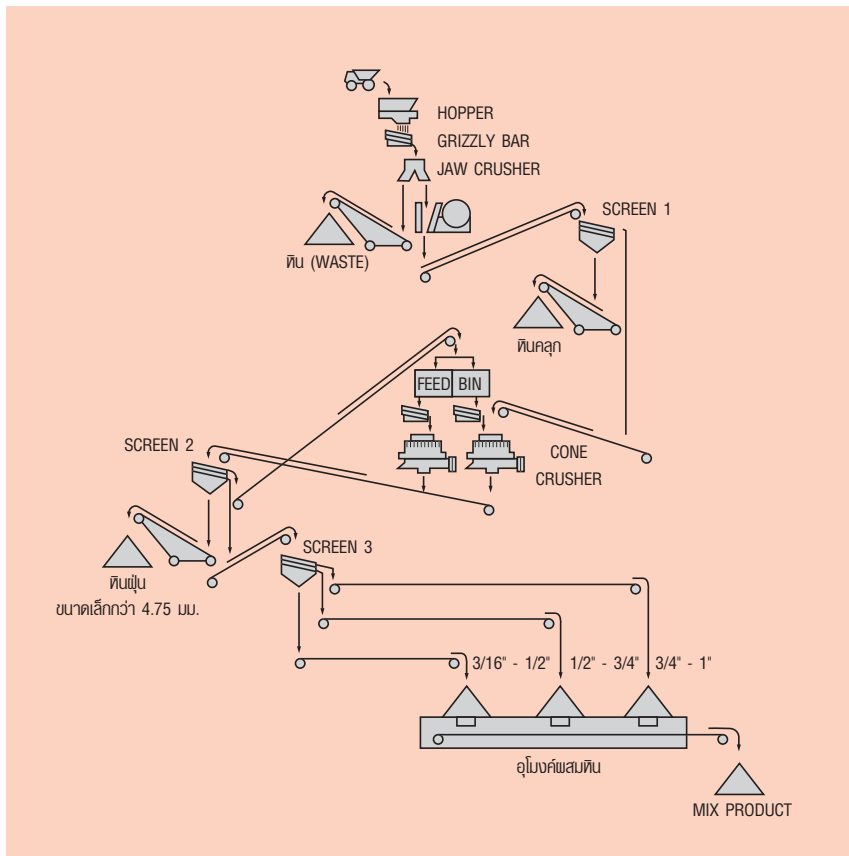
ขั้นตอนที่ 2 ทำการเปิดหน้าเหมือง โดยการระเบิด ซึ่งจะได้หินที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะนำมาใช้งาน จึงต้องนำมาบดหรือย่อยให้มีขนาดเหมาะสมต่อในขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 3 บดหรือย่อยหินจนมีขนาดตามที่ต้องการ แล้วลำเลียงหินไปกองเก็บเพื่อรอการนำไปใช้งาน

กรรมวิธีการผลิตหิน ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน ได้แก่ การผลิตหินใหญ่ และการย่อยหิน

● การผลิตหินใหญ่

ในปัจจุบันการผลิตหินใหญ่ จะต้องได้รับประทานบัตรเหมืองแร่ชนิดหินก่อสร้างจากกรมทรัพยากรธรณี โดยทั่วไปการผลิตหินใหญ่มีรูปแบบการผลิต หรือแผนผังการทำเหมือง 4 วิธี คือ



รูปที่ 9-14 แผนภาพกระบวนการย่อยและการผสมหิน

1. การผลิตจากข้างเขา (Side Hill Quarry) เป็นรูปแบบการผลิตที่นิยมใช้ในสมัยก่อน โดยเริ่มจากการระเบิดหินที่บริเวณเชิงเขาไล่ขึ้นไปจนเป็นหน้าผาสูง จากนั้นต้องใช้แรงงานคนปีนป่ายขึ้นไประเบิดหินบนหน้าผาให้ทะลุลงมา รูปแบบนี้ในปัจจุบันไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากต้องเสี่ยงอันตรายมาก ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของหินได้ตามต้องการ และไม่สามารถผลิตหินได้ในปริมาณมาก นอกจากนี้ยังเป็นการทำลายทัศนียภาพแวดล้อมอีกด้วย
2. การผลิตจากยอดเขา (Top Down Quarry) เริ่มจากการตัดถนนเพื่อลำเลียงเครื่องจักรกลหนักขึ้นสู่ยอดเขา แล้วระเบิดหินจากยอดเขาลงมาเป็นชั้นบันได (Bench) วิธีการผลิตรูปแบบนี้สามารถขยายกำลังผลิตในปริมาณมาก และคัดเลือกคุณภาพหินได้ตามต้องการขึ้นอยู่กับความกว้างและความยาวของชั้นบันได
3. การผลิตจากบ่อ (Open Pit Quarry) เป็นรูปแบบบ่อ สำหรับการผลิตหินที่อยู่ลึกจากพื้นดินลงไป เริ่มจากการเปิดหน้าดินแล้วระเบิดหินลึกลงไปใต้ดินเป็นชั้นบันไดเพื่อความสะดวกในการลำเลียงหิน และป้องกันการพังทลายของผนังบ่อ
4. การผลิตจากบ่อนยอดเขา (Semi Open Pit Quarry) เป็นการผลิตจากยอดเขาเหมือนรูปแบบที่สอง แต่จะระเบิดหินตรงกลางเขาเป็นรูปบ่อลงไป โดยไม่มีการทำลายบริเวณข้างเขา เพื่อช่วยอนุรักษ์ทัศนียภาพแวดล้อมและ



รูปที่ 9-15 การผลิตจากข้างเขา (Side Hill Quarry)



รูปที่ 9-16 การผลิตจากยอดเขา (Top Down Quarry)



รูปที่ 9-17 การผลิตจากบ่อ (Open Pit Quarry)



รูปที่ 9-18 การผลิตจากบ่อนยอดเขา (Semi Open Pit Quarry)

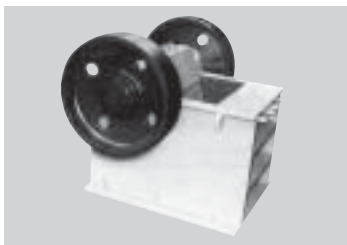


ป้องกันมลภาวะ รูปแบบนี้ บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด ในเครือ
ซีเมนต์ไทย เป็นผู้ริเริ่มนำมาใช้ในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ผู้ผลิตหินราย
ย่อยอาจไม่สามารถนำวิธีการนี้มาใช้ได้ เนื่องจากมีต้นทุนสูงและต้องมีพื้นที่
ประทานบัตรมากพอ

การระเบิดหิน : เป็นขั้นตอนที่สำคัญของการผลิตหินใหญ่ที่ทำโดยใช้เครื่องเจาะ เจาะ
รูเข้าไปในเนื้อหินโดยมีขนาดรูตั้งแต่ 1.5 - 12 นิ้ว แล้วแต่นาเครื่องเจาะ จากนั้นก็จะ
บรรจุวัตถุระเบิด ได้แก่ เชื้อปะทุ, ดินระเบิดแรงสูง, และปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรท ซึ่งเป็นสาร
ช่วยขยายกำลังระเบิดลงไปเพื่อระเบิดหินออกมา การเลือกขนาด, จำนวน, และระยะห่าง
ของรูเจาะ มีความสัมพันธ์กันกับปริมาณหินที่ต้องการระเบิด และขนาดของก้อนหินใหญ่ที่
ต้องการ และจะต้องเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักของวัตถุระเบิดที่ใช้ในแต่ละครั้ง



รูปที่ 9-19 ตะแกรงคัดหิน (Grizzly Bar)



ก) Jaw Crusher



ข) ภาพตัดภายใน Jaw Crusher

รูปที่ 9-20 Jaw Crusher

● การย่อยหิน

การย่อยหิน หรือการโม่หิน มีวัตถุประสงค์เพื่อย่อยและคัดขนาดหินให้มีขนาด
และส่วนคละตามมาตรฐานที่กำหนด ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. การคัดดิน หินใหญ่ที่ลำเลียงมาจากเหมืองหิน ปกติจะมีเศษดินปะปนมาก่อน
ข้างมาก จะต้องร่อนผ่านตะแกรงคัดดิน (Grizzly Bar) เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก
ออกก่อนที่จะนำเข้าสู่เครื่องย่อย ตะแกรงคัดดินนี้จะมีช่องเปิดกว้างประมาณ
4 - 6 นิ้ว เพื่อให้เศษดินหลุดลอดออกไป
2. การย่อยหินขั้นที่ 1 (Primary Stage) เป็นการย่อยหินก้อนใหญ่ให้เหลือ
ขนาดประมาณ 60 - 90 เซนติเมตร เพื่อความสะดวกในการย่อยขั้นต่อไป
เครื่องย่อยหินขั้นที่ 1 (Primary Crusher) โดยทั่วไปจะใช้เครื่องแบบ Jaw
Crusher หรือ Impact Crusher แต่ Impact Crusher ไม่เป็นที่นิยมใช้กัน
เนื่องจากทำให้เกิดฝุ่นจากการย่อยหินค่อนข้างมาก
3. การย่อยหินขั้นที่ 2 (Secondary Stage) เป็นการย่อยหินในลำดับถัดไป โดย
ย่อยหินจากการโม่ขั้นที่ 1 ให้มีขนาดเล็กลง โดยให้มีขนาดใหญ่ได้ไม่เกิน
ขนาดใหญ่สุดที่ต้องการ โดยปกติหินที่ได้จากการโม่ขั้นนี้ จะมีขนาดลดหลั่น
ลงไป ตั้งแต่ขนาด 5 เซนติเมตร จนถึง หินฝุ่น เครื่องย่อยหินขั้นที่ 2
(Secondary Crusher) มีใช้กันอยู่หลายแบบ เช่น Jaw Crusher, Impact
Crusher, และ Cone Crusher โดยที่ Cone Crusher จะเป็นแบบที่นิยม
ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการผลิตดีกว่าแบบอื่น
4. การย่อยหินขั้นที่ 3 (Tertiary Stage) โดยปกติการย่อยหินขั้นที่ 2 จะ
สามารถลดขนาดหินลงได้ตามความต้องการ แต่สำหรับโรงโม่ที่ต้องการกำลัง
การผลิตมากจำเป็นต้องมีการย่อยในขั้นที่ 3 อีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการย่อย
ในขั้นที่ 2 จะมีหินที่มีขนาดใหญ่เกินความต้องการ อยู่ประมาณ 20 - 30%

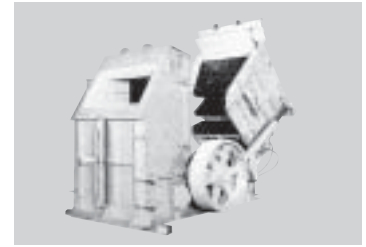
หากไม่มีการย่อยในชั้นที่ 3 จะต้องนำหินส่วนที่เกินกลับเข้าเครื่องย่อยชั้นที่ 2 ซ้ำอีกครั้ง ซึ่งจะทำให้กำลังผลิตลดลง เครื่องย่อยหินชั้นที่ 3 (Tertiary Crusher) มีแบบที่ใช้กันอยู่เหมือนกับชั้นที่ 2 แต่มีขนาดเล็กกว่าสำหรับขั้นตอนนี้หากใช้ Impact Crusher จะได้หินที่มีรูปร่างเหลี่ยมกลมมากกว่าที่ใช้เครื่องย่อยชนิดอื่น

5. การคัดแยกหิน (Screening) เป็นหัวใจของการย่อยหิน เนื่องจากหินจากเครื่องย่อยจะมีขนาดก่อนต่าง ๆ ปะปนกันอยู่ ต้องทำการคัดแยกออกจากกัน ด้วยตะแกรงร่อนหิน (Vibrating Screen) ซึ่งจะเป็นชุดตะแกรงวางเรียงซ้อนกันอยู่ 3 - 4 ชั้น โดยทั่วไปจะวางตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิด 1, 3/4, 1/2, 3/8, และ 3/16 นิ้ว เรียงกันตามลำดับจากบนมาล่าง

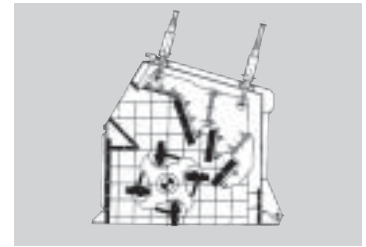
6. การผสมหิน (Blending) โรงโม่ส่วนใหญ่เมื่อคัดแยกหินออกจากตะแกรง จะใช้สายพานลำเลียงหินออกมากองแยกเป็นกอง ๆ ตามขนาดตะแกรงชั้นต่าง ๆ แล้วขายลูกค้าเป็นหินขนาดเดียว ที่เรียกว่า "Single Size" เนื่องจากหินแต่ละกองจะมีขนาดตายตัวไม่มีขนาดอื่นปน การนำหินมาผสมคอนกรีตจำเป็นต้องนำหินขนาดต่าง ๆ เหล่านี้มาผสมกัน ให้ได้ส่วนคละตามมาตรฐาน ASTM C 33 ด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ได้แก่

- วิธีใช้รถตัก โดยผสมตามสัดส่วนที่คำนวณไว้ วิธีนี้หินที่ผสมได้จะมีส่วนคละไม่ค่อยสม่ำเสมอ
- วิธีใช้ราง โดยการปรับปรุงบริเวณรางหินที่ออกมาจากตะแกรงร่อน ให้หินขนาดต่าง ๆ มารวมตัวกันก่อนขึ้นสายพานลำเลียงไปลงกอง วิธีนี้จะผสมหินได้สม่ำเสมอมากกว่าวิธีแรก แต่ไม่สามารถปรับส่วนคละได้เที่ยงตรงเท่าที่ควร
- วิธีใช้อุโมงค์ เป็นวิธีผสมหินที่ดีที่สุดโดยการนำหินที่ได้จากตะแกรงร่อนมากองแยกแบบ Single Size บนอุโมงค์ที่มีสายพานลำเลียงอยู่ข้างใต้ แล้วใช้คอมพิวเตอร์คำนวณการเปิดประตูระบายหินได้กองแต่ละกองลงสู่สายพานด้านล่าง ตามสัดส่วนที่เหมาะสมแล้วลำเลียงไปโรยผสมกันในถังเก็บหินก่อนจำหน่าย

7. การควบคุมคุณภาพ โรงโม่หินส่วนมากจะไม่มีระบบควบคุมคุณภาพ นอกจากจะแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นวันต่อวัน โดยทั่วไปการควบคุมความสกปรกของหินทำได้โดยการคัดเลือกหินใหญ่ให้สะอาดมีดินปนน้อยที่สุด และเปิดตะแกรงคัดดินให้เหมาะสม การควบคุมปริมาณฝุ่นทำได้โดยการปรับเปลี่ยนขนาดของตะแกรงคัดฝุ่นให้เหมาะสมกับฤดูกาล การควบคุมส่วนคละทำได้โดยการหมั่นตรวจสอบการสึกหรอของตะแกรง และฟันโม่ (Liner) รวมถึงการปรับระยะห่างของปากโม่ให้เหมาะสมอย่างสม่ำเสมอ การควบคุมรูปร่างของก้อนหินค่อนข้างทำได้ยาก หากแหล่งหินและเครื่องจักรไม่เหมาะสม แต่อาจทำได้โดยการเลือกบริเวณที่จะผลิตหินใหญ่ที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียว (Homogeneous) ไม่วางเรียงกันเป็นชั้น (Laminated) จนเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังต้องควบคุมการป้องกันหินเข้าให้เต็มไม่อยู่ตลอดเวลา

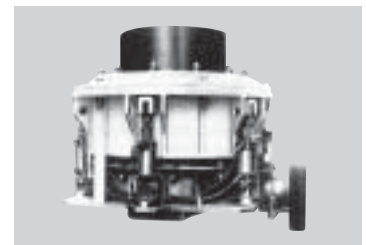


ก) Impact Crusher

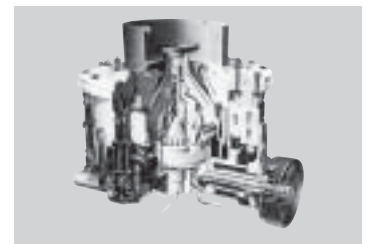


ข) ภายใน Impact Crusher

รูปที่ 9-21 Impact Crusher

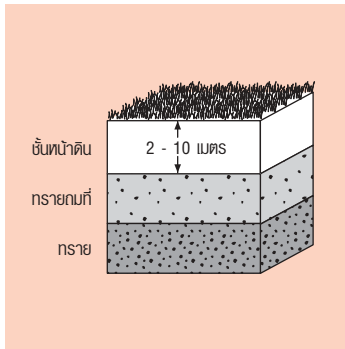


ก) Cone Crusher



ข) ภาพตัดภายใน Cone Crusher

รูปที่ 9-22 Cone Crusher



รูปที่ 9-23 ภาพตัดชั้นดิน

9.6 ทรายที่นำมาใช้ผสมคอนกรีต

ทรายเป็นวัตถุของเศษหิน เศษแร่ขนาดเล็ก มีลักษณะร่วนซุยไม่เกาะกัน เกิดจากกระบวนการผุพังสลายตัวทางธรรมชาติทั้งจากปฏิกิริยาทางเคมีและทางกายภาพของหินที่เป็นต้นกำเนิด เช่น หินอัคนี, หินตะกอนหรือหินชั้น, และหินแปร จากส่วนประกอบของหินต้นกำเนิดเหล่านี้ แร่เชื่อมประสานหรือควอร์ตซ์ (Quartz) เป็นแร่ที่มีความแข็งแรงทนต่อการกัดกร่อนและคงสภาพอยู่ได้ในสภาพเม็ดที่ใหญ่ จึงคงค้างและเป็นส่วนประกอบสำคัญของทราย โดยทั่วไปเม็ดทรายมีขนาดระหว่าง 1/16 ถึง 2 มิลลิเมตร

ทรายเป็นทรัพยากรธรณีประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญ มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากภายในอุตสาหกรรมก่อสร้าง เช่น ใช้เป็นมวลรวมหรือวัสดุผสมปูนซีเมนต์, และเป็นวัสดุในการปรับถมสภาพพื้นที่ เป็นต้น

แหล่งทรายในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นทรายที่ได้มาจากแม่น้ำและที่ราบลุ่มน้ำเก่า หรือที่เรียกกันว่า “ทรายน้ำจืด” มากกว่าทรายที่ได้จากชายฝั่งและในทะเล ซึ่งเป็นทรายที่เรียกกันว่า “ทรายทะเล”

ทรายน้ำจืดเกิดจากการพัดพาของกระแสน้ำจากแหล่งต้นกำเนิดสะสมอยู่ตามร่องน้ำ ขอบริมฝั่ง และตามที่ราบลุ่มทั่วไป

ทรายที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตเป็นชนิดทรายน้ำจืด สามารถแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิด ได้แก่ ทรายแม่น้ำ, และทรายบก

1. ทรายแม่น้ำ

ทรายแม่น้ำเป็นทรายที่เกิดจากการกัดเซาะของกระแสน้ำแล้วค่อย ๆ ตกตะกอนสะสมกลายเป็นแหล่งทรายอยู่ใต้ท้องน้ำ โดยทรายที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จะตกตะกอนอยู่บริเวณต้นน้ำ ส่วนทรายละเอียดนั้นก็จะถูกกระแสน้ำพัดพามารวมกันบริเวณท้ายน้ำ

2. ทรายบก

ทรายบกเป็นทรายที่เกิดจากการตกตะกอนที่ทับถมกันของลำน้ำเก่าที่แปรสภาพเป็นพื้นดิน โดยมีซากพืชและซากสัตว์ทับถมกันบริเวณผิวหน้าซึ่งเราเรียกกันว่าหน้าดิน มีความหนาประมาณ 2 - 10 เมตร

9.7 กรรมวิธีการผลิตทราย

● การสำรวจแหล่งทราย

การสำรวจค้นหาแหล่งทรายโดยทั่ว ๆ ไปนั้นอาจจะสรุปได้เป็น 3 วิธีดังนี้

1. วิธีการแบบดั้งเดิม (Traditional Survey)

เป็นวิธีการที่ไม่ได้ใช้ความรู้ทางวิชาการหรือเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการสำรวจ แต่ใช้การคาดเดาจากแหล่งที่มาต่าง ๆ คือ

- พื้นที่ใกล้เคียงมีลักษณะเป็นแหล่งทราย
- การขุดเจาะบ่อบาดาลของชาวบ้าน

วิธีการสำรวจแบบนี้มีค่าใช้จ่ายต่ำมาก แต่แหล่งทรายที่พบอาจจะมีคุณภาพต่ำ หรือมีปริมาณทรายน้อย

2. วิธีการทางธรณีวิทยา (Geological Survey)

เป็นวิธีการที่นำความรู้วิชาการทางด้านธรณีวิทยาในส่วนของการศึกษาสภาพภูมิประเทศและโครงสร้างของเปลือกโลกมาพิจารณาถึงสภาพพื้นที่บริเวณต่าง ๆ ที่มีความเป็นไปได้ว่าจะมีทรายอยู่ใต้พื้นดินบริเวณนั้น และเมื่อแน่ใจว่ามีแหล่งทรายอยู่ใต้พื้นดินบริเวณดังกล่าว ก็จะมีการเจาะสำรวจชั้นทรายเพื่อตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของแหล่งทรายนั่นต่อไป วิธีการสำรวจแบบนี้มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีแรกแต่โอกาสที่จะค้นพบแหล่งทรายที่มีปริมาณและคุณภาพตามที่ต้องการก็มีสูงเช่นกัน

3. วิธีการจากดาวเทียม (Satellite Survey)

เป็นวิธีการสมัยใหม่ที่น่าเทคโนโลยีระดับสูงเข้ามาช่วยในการสำรวจ โดยดาวเทียมที่ใช้สำรวจนั้นจะต้องติดตั้งอุปกรณ์พิเศษที่มีความสามารถในการค้นหาแหล่งทราย รวมถึงปริมาณและคุณภาพของแหล่งทรายนั่นได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ วิธีการสำรวจแบบนี้จะมีค่าใช้จ่ายสูงมาก ผู้สำรวจจะต้องเปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นกับปริมาณและคุณภาพทรายที่จะนำมาใช้ประโยชน์ว่าจะคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์หรือไม่อย่างไรก็ตามในอนาคตอันใกล้นี้วิธีการสำรวจดังกล่าวจะเป็นที่แพร่หลายมากขึ้น เพราะเทคโนโลยีใหม่ ๆ กำลังเข้ามามีบทบาทต่อการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน

● กรรมวิธีการผลิตทรายแม่น้ำ

กรรมวิธีการผลิตทรายจากแหล่งทรายแม่น้ำ จะต้องได้รับอนุญาตจากกรมที่ดินก่อน ขั้นตอนการผลิตทรายแม่น้ำ โดยทั่วไปเริ่มจากการดูดทรายขึ้นมาจากแม่น้ำ ซึ่งมี

2 ลักษณะ คือ

1. การดูดทรายแบบอยู่กับที่ ในกรณีที่ลำน้ำมีพื้นที่ไม่กว้างมากนัก และมีปริมาณทรายมากเพียงพอ รวมทั้งมีอัตราการดูดทรายต่ำ
2. การดูดทรายแบบเคลื่อนที่ โดยการย้ายไปตามลำน้ำในบริเวณพื้นที่ที่ขออนุญาตไว้ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีพื้นที่กว้าง หรือมีความหนาของชั้นทรายน้อย

การนำทรายขึ้นจากท้องน้ำ จะใช้เรือดูด ซึ่งได้ติดตั้งเครื่องจักรบีบดูดน้ำแบบหอยโข่งต่อกับท่อดูดทราย ดูดเอาน้ำและทรายขึ้นมาตามท่อ แล้วทิ้งทรายลงบนตะแกรงของเรืออีกลำ ตะแกรงจะทำหน้าที่ร่อนแยกกรวดที่มีขนาดใหญ่ออก ก่อนที่จะดูดทรายขึ้นบนเรือบรรทุกทรายที่รอรับอยู่ เมื่อทรายเต็มเรือก็จะใช้เรืออีกลำลากเรือบรรทุกทรายไปยังท่าทรายต่าง ๆ ทรายที่ได้จะยังไม่สะอาดนัก เนื่องจากมีสารอินทรีย์และเศษตะกอนของดินโคลนปะปนอยู่ โดยทั่วไปจะต้องมีการล้างทรายอีกครั้ง กล่าวคือ เมื่อเรือบรรทุกทรายมาถึงท่าทรายจะถูกทิ้งลงน้ำบริเวณใกล้ท่าโดยการเปิดท้องเรือให้ทรายไหลลงแม่น้ำ แต่ถ้าเรือที่ลำเลียงทรายเปิดท้องเรือไม่ได้ ก็จะใช้สายพานลำเลียงทรายทิ้งลงในแม่น้ำ จากนั้นจะใช้เรือดูด ดูดทรายขึ้นมา ทำวิธีการเดียวกันกับการดูดทรายขึ้นจากท้องน้ำครั้งแรก แตกต่างกันที่ตะแกรงที่ใช้จะ



รูปที่ 9-24 การผลิตทรายตามวิธีการดั้งเดิม โดยใช้ตะแกรงแยกขนาดทราย



รูปที่ 9-25 การเปิดหน้าดิน



รูปที่ 9-26 เรือดูดทราย



รูปที่ 9-27 ท่อส่งลำเลียงทรายจากเรือเข้าสู่ Feedbox

สามารถแยกได้ทั้งทรายหยาบและทรายละเอียด ทรายที่ได้จัดเป็นทรายที่สะอาด เพราะผ่านการชะล้างถึง 2 ครั้ง

ขั้นตอนต่อไป คือ การลำเลียงทรายโดยใช้สายพานลำเลียงจากเรือไปเก็บไว้ในถังจนเต็ม เมื่อถังเต็มก็จะลำเลียงทรายไปเก็บยัง Stock ต่อไป ทรายที่เก็บไว้ในถัง สามารถลำเลียงลงรถบรรทุกได้โดยสะดวก เพียงเปิดปากถังให้ทรายไหลลงในรถบรรทุกเอง ส่วนทรายที่กอง Stock อยู่หากจะนำไปใช้ จะใช้รถตักขนทรายใส่รถบรรทุกอีกครั้ง

● กรรมวิธีการผลิตทรายบก

กรรมวิธีการผลิตทรายจากแหล่งทรายบก อาจแบ่งตามการผลิตได้เป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

1. การผลิตทรายตามวิธีการดั้งเดิม

เป็นกรรมวิธีการผลิตทรายที่ทำกันมานานเรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า “ทรายชาวบ้าน” การลงทุนไม่สูงมากและทรายที่ได้จะมีคุณภาพต่ำ กระบวนการผลิตทรายจะเริ่มจากการเปิดหน้าดินก่อนด้วยรถตักดิน จากนั้นจะขุดดินลงไปจนถึงระดับน้ำใต้ดินจนมีสภาพเป็นแอ่งน้ำขนาดใหญ่ แล้วนำเรือมาดูด หรือใช้รถตักทรายขึ้นมาผ่านตะแกรงเพื่อแยกกรวดออก แล้วนำทรายไปกองไว้เพื่อนำไปใช้ต่อไป ผู้ผลิตทรายบางรายอาจจะใช้ตะแกรงที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้แยกขนาดของทรายออกเป็นทรายหยาบและทรายละเอียด อย่างไรก็ตาม การผลิตทรายด้วยวิธีนี้ก็ไม่สามารถแยกขนาดละเอียดของทรายตามที่ต้องการได้ และทรายที่ผลิตได้จะไม่สะอาดเท่าที่ควร เนื่องจากมีการเจือปนของสารอินทรีย์ที่ติดมากับทราย

2. การใช้เครื่องจักรในการผลิตทราย

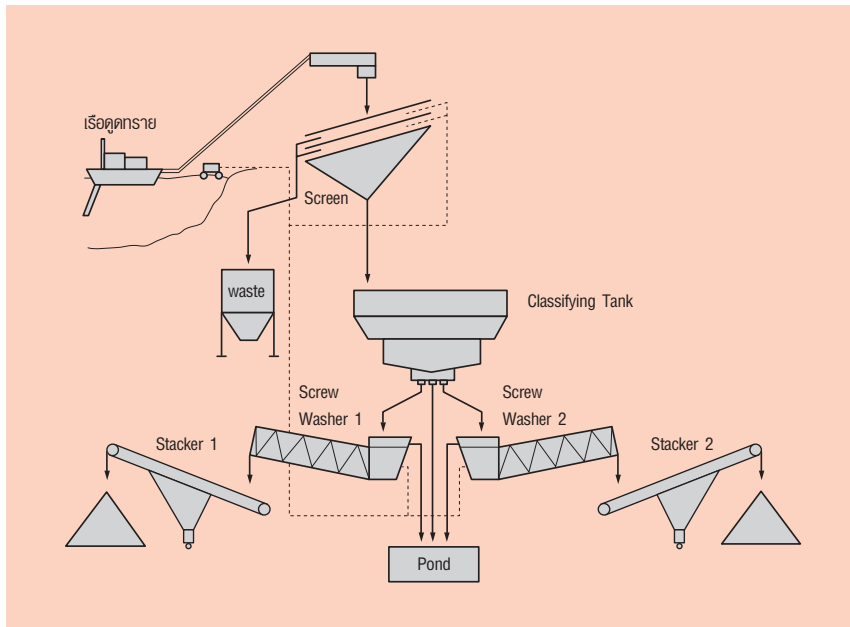
เป็นกรรมวิธีการผลิตทรายที่ทันสมัย โดยใช้เครื่องจักรในการทำความสะดวกและแยกขนาดละเอียดของทรายให้ตรงตามความต้องการ จึงได้ทรายที่มีคุณภาพสูง กล่าวคือ ขนาดละเอียดของทรายสอดคล้องตามข้อกำหนด และไม่มีปริมาณสารเจือปน เช่น ดิน หรือสารอินทรีย์อื่น ๆ เกินข้อกำหนด

กระบวนการผลิตจะเริ่มจากการเปิดหน้าดินก่อนด้วยรถตักดิน จากนั้นจะขุดลึกลงไปจนถึงระดับน้ำใต้ดิน จนมีสภาพเป็นแอ่งน้ำขนาดใหญ่แล้วนำเรือมาดูดทรายผ่านตามท่อเข้าสู่เครื่องจักรเพื่อให้เครื่องจักรทำความสะอาด และคัดแยกทรายตามขนาดละเอียดต่อไป

เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตทราย อาจแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้ (ดูรูปขั้นตอนการทำงานได้จาก รูปที่ 9-28)

2.1 เรือดูดทราย ทำหน้าที่ดูดทรายจากบ่อทรายเพื่อส่งมาเข้า Feedbox

2.2 Feedbox เป็นจุดแรกที่รับทรายจากท่อส่งลำเลียงทราย ทำหน้าที่คัดกรองหินและรากไม้ที่อาจจะรบกวนการทำงานของตะแกรง โดยตำแหน่งของ Feedbox ใน รูปที่ 9-29 อยู่บริเวณส่วนบนสุดของเครื่องจักร

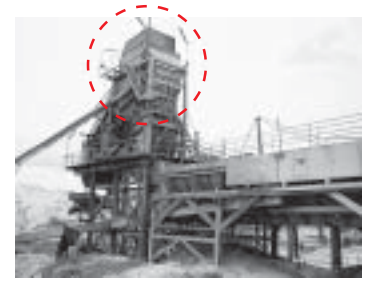


รูปที่ 9-28 Flow Diagram ของโรงงานผลิตทราย

2.3 ตะแกรงร่อน (Screen) ทำหน้าที่คัดเลือกรทรายที่มีขนาดใหญ่เกินไป เพื่อนำไปทิ้ง ส่วนที่ผ่านตะแกรงจะส่งไปยัง Classifying Tank ต่อไป

2.4 Classifying Tank จะรับทรายจากตะแกรงเพื่อทำหน้าที่

- คัดแยกขนาดละเอียดของทราย โดยอาศัยหลักการพัดพาของทรายที่ปนไปกับน้ำ โดยทรายที่มีขนาดใหญ่จะตกตะกอนเร็วกว่าทรายขนาดเล็ก ดังนั้นการกระจายตัวของทรายภายใน Tank จะเป็นดังนี้ คือ ทรายหยาบจะตกอยู่บริเวณตอนต้นของ Tank สำหรับทรายละเอียดจะอยู่บริเวณส่วนปลายของ Tank ภายใน Classifying Tank ประกอบด้วย 11 Stations เรียงลำดับจาก Station ที่ 1 ซึ่งทรายที่ตกตะกอนนั้นจะมีขนาดใหญ่หรือหยาบที่สุด ไปจนถึง Station ที่ 11 ซึ่งทรายที่ตกตะกอนนั้นจะมีขนาดเล็กหรือละเอียดที่สุด แต่ละ Station จะมีวาล์วเปิด-ปิด เพื่อทำหน้าที่ผสมทรายแต่ละขนาดให้ได้ขนาดละเอียดตามต้องการ โดยระยะเวลาการเปิด-ปิดของวาล์วจะรับคำสั่งมาจากระบบควบคุม PLC (Programmable Logic Control)
- ทำความสะอาดทราย โดยการคัดแยกฝุ่น หรือทรายที่ละเอียดมาก เพื่อนำไปทิ้ง โดยใช้หลักการที่ว่าฝุ่นหรืออนุภาคขนาดเล็กจะพัดพาไปพร้อมกับน้ำที่ล้นจาก Classifying Tank



รูปที่ 9-29 Feedbox



รูปที่ 9-30 ตะแกรงร่อนทราย



ก) Classifying Tank



ข) ภายใน Classifying Tank



ค) วาล์วเปิดปิดในแต่ละ Station

รูปที่ 9-31 Classifying Tank



รูปที่ 9-32 ห้องควบคุมคุณภาพการผลิตและระบบควบคุม PLC



รูปที่ 9-33 Screw Washer



รูปที่ 9-34 Belt Stacker



รูปที่ 9-35 โรงงานผลิตทราย

2.5 ระบบควบคุม PLC (Programmable Logic Control) ทำหน้าที่

- เป็นตัวรับข้อมูลขนาดผลของทรายตามที่คุณผลิตต้องการ
- คำนวณอัตราส่วนผสมของปริมาณทรายในแต่ละ Station เพื่อนำมาผสมกันให้ได้ขนาดผลตามที่ต้องการ
- ควบคุมการเปิด-ปิด ของวาล์วใน Classifying Tank โดยการนำอัตราส่วนที่คำนวณได้ มาแปลงเป็นเวลาที่ใช้ในการเปิดวาล์วในแต่ละ Station

2.6 Screw Washer ทำหน้าที่รับทรายจาก Classifying Tank เพื่อทำความสะอาดทรายอีกครั้งหนึ่งและดึงน้ำออกจากทราย (Dewatering) ซึ่งสามารถลดความชื้นของทรายให้ต่ำกว่า 20% ได้

2.7 สายพานลำเลียงทราย (Belt Stacker) ทำหน้าที่รับทรายจาก Screw Washer เพื่อนำไปกองไว้ให้แห้งและเพื่อตักไปใช้งานต่อไป

โรงงานที่มีกำลังการผลิตสูง จะใช้ Belt Conveyor อีกชุดหนึ่ง เพื่อลำเลียงทรายจากกองไปไว้ที่ถังทราย แล้วนำรถขนส่งทรายมารองรับทรายจากถัง เพื่อลดกระบวนการตักทรายโดยตรงตัก เป็นการประหยัดเวลาและแรงงาน อีกทั้งยังทำให้พื้นที่ Stock ทรายมากขึ้นด้วย

จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตทรายทั้งสองวิธีนั้นต่างก็มีข้อดีและข้อเสียต่างกันไปในการผลิตทรายโดยวิธีดั้งเดิมนั้นมีข้อดี คือ การลงทุนต่ำ กระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนและราคาทรายต่ำ แต่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพทรายได้ตามที่ต้องการ ในทางกลับกันการใช้เครื่องจักรในการผลิตทรายจะมีการลงทุนสูง กระบวนการผลิตซับซ้อน จึงทำให้ต้นทุนและราคาของทรายสูงขึ้น แต่ก็สามารถควบคุมคุณภาพทรายให้เป็นไปตามที่

ต้องการได้ ดังนั้นเครื่องจักรผลิตทรายนี้จึงไม่ได้ผลิตเพียงแต่ทรายที่ใช้ผสมคอนกรีตเท่านั้น แต่ยังสามารถผลิตทรายชั้นคุณภาพใด ๆ ก็ได้ ตามความต้องการของผู้ผลิต เช่น ทรายสำหรับทำกระเบื้อง หรือทรายสำหรับทำกระจก เป็นต้น ซึ่งวิธีการผลิตทรายแบบดั้งเดิมไม่สามารถทำได้

9.8 คุณสมบัติทั่วไปของมวลรวม

มวลรวม ควรมีคุณสมบัติที่ทำให้คอนกรีตนั้นมีความสามารถได้ง่าย แข็งแรง คงทน และมีราคาประหยัด นอกจากนี้ มวลรวมควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ

1. ความแข็งแรง (Strength)

มวลรวมจะต้องมีความสามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังของคอนกรีตที่ต้องการ ซึ่งปกติมวลรวมที่ใช้โดยทั่วไปจะมีความสามารถรับแรงกดได้สูงกว่าคอนกรีตมาก คือ จะรับแรงกดได้ 700 - 3,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของมวลรวมที่ใช้

ชนิดของหิน	กำลังอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
หินควอร์ตไซต์ (Quartzite)	1,500 - 3,000
หินแกรนิต (Granite)	1,000 - 2,500
หินบะซอลต์ (Basalt)	1,000 - 3,000
หินปูน (Limestone)	300 - 2,500

ตารางที่ 9-1 กำลังอัดของหิน 5

2. ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการขัดสี (Impact and Abrasion Resistance)

ความสามารถในการต้านทานต่อแรงกระแทกและการขัดสีของมวลรวม เป็นคุณสมบัติที่สามารถใช้เป็นตัวชี้บอกถึงคุณภาพของมวลรวม และมีความสำคัญมากสำหรับมวลรวมที่ใช้ผสมทำคอนกรีตที่ต้องรับแรงกระแทกหรือการขัดสี เช่น พื้นถนน, พื้นโรงงาน, และพื้นสนามบิน เป็นต้น ดังนั้น มวลรวมที่ใช้ในงานได้ดี ควรมีความแข็งแรงสูงและมีเนื้อแน่น

3. ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability)

มวลรวมจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์ หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ในบางพื้นที่มวลรวมบางประเภทสามารถทำปฏิกิริยากับด่าง (Alkali) ในปูนซีเมนต์ได้ ก่อให้เกิดเป็นวุ้นและขยายตัวจนเกิดรอยแตกร้าวกระจายอยู่ทั่วบริเวณผิวหน้าคอนกรีต ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า “ปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction หรือ AAR)”

4. รูปร่างและลักษณะผิว (Particle Shape and Surface Texture)

รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวม มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด มากกว่าคุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว มวลรวมที่มีผิวหยาบ, มีรูปร่างแบน,



ก) การกองทรายไว้



ข) ยุ้งทราย

รูปที่ 9-36 การกองเก็บทรายที่โรงงานผลิตทราย



ก) หินรูปร่างเป็นเหลี่ยม



ข) หินรูปร่างแบน



ค) หินรูปร่างยาวเรียว

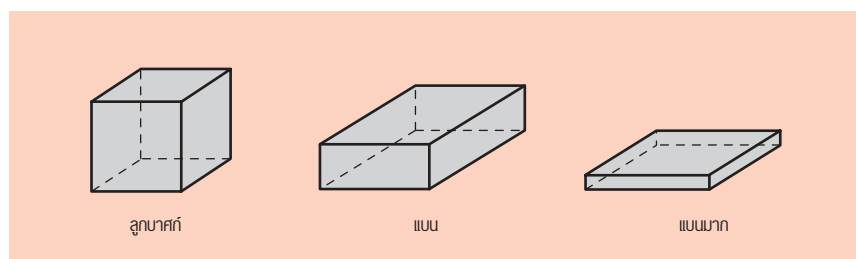
รูปที่ 9-37 รูปร่างของหิน

หรือมีรูปร่างยาวเรียว จะทำให้คอนกรีตมีความต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์มากกว่าที่ใช้มวลรวมรูปร่างกลม หรือเหลี่ยม ที่ระดับความสามารถเท่าได้ (Workability) เดียวกัน

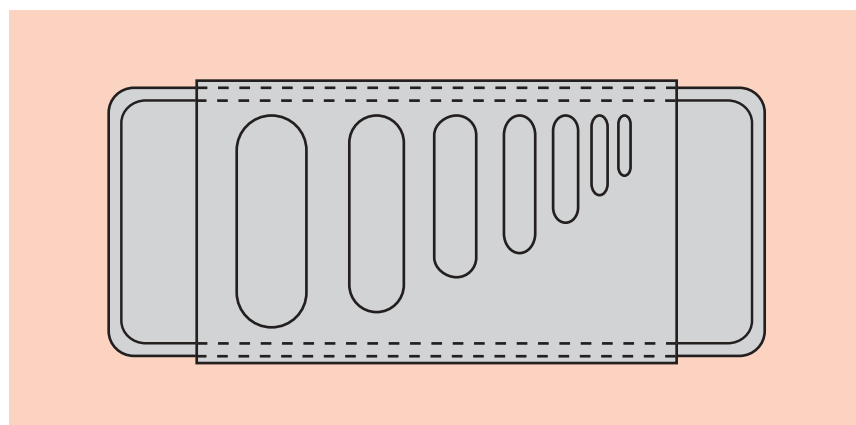
ตามมาตรฐานอังกฤษ มีการกำหนดการทดสอบรูปร่างของมวลรวมไว้ 2 ประการ คือ

- การทดสอบความแบน (Flakiness) คือ การทดสอบหาอัตราส่วนของความกว้างต่อความหนาของมวลรวม ดังใน รูปที่ 9-38 แสดงรูปร่างของมวลรวมหยาบที่มีระดับความแบนแตกต่างกัน และเครื่องมือทดสอบความแบนของมวลรวมหยาบ
- การทดสอบความยาวเรียว (Elongation) คือ การทดสอบหาอัตราส่วนของความยาวต่อความกว้างของมวลรวม ดังใน รูปที่ 9-39 แสดงรูปร่างของมวลรวมหยาบที่มีระดับความยาวเรียวแตกต่างกัน และเครื่องมือทดสอบความยาวเรียวของมวลรวมหยาบ

คอนกรีตกำลังสูงหรือคอนกรีตที่ออกแบบไว้สำหรับการลำเลียงด้วยปั๊มคอนกรีต ควรใช้มวลรวมหยาบที่มีดัชนีความแบน (Flakiness Index) และดัชนีความยาว (Elongation Index) ไม่เกิน 25% โดยการทดสอบตามมาตรฐาน BS 812 : Section 105.1 และ 105.2 ตามลำดับ



ก) รูปร่างของมวลรวมหยาบที่มีระดับความแบนแตกต่างกัน

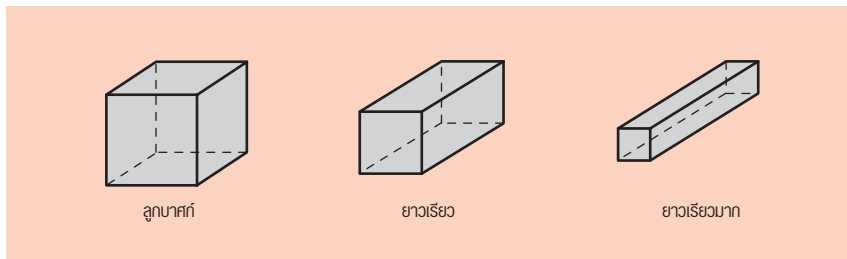


ข) เครื่องมือทดสอบความแบนของมวลรวมหยาบ (Thickness Gauge)

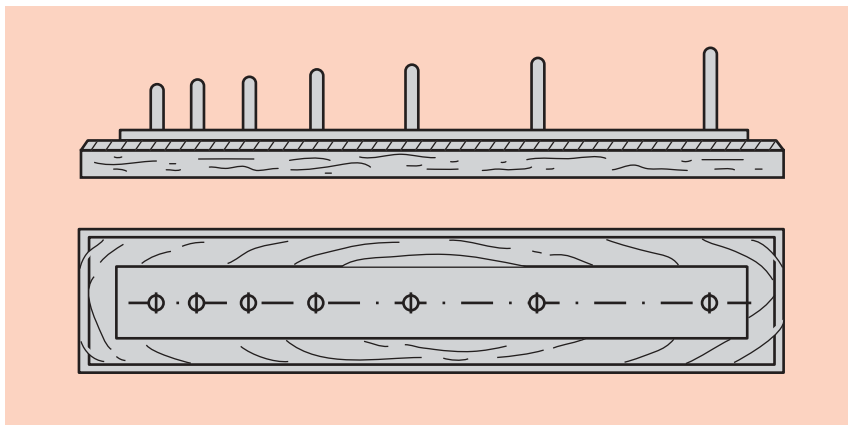
รูปที่ 9-38 การทดสอบความแบน (Flakiness)

ส่วนลักษณะผิวของมวลรวมหยาบ จะมีผลโดยตรงกับแรงยึดเหนี่ยว เมื่อมีผิวหยาบด้านหรือมีรูพรุนมาก จะทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวดี แต่ต้องใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์มากขึ้น

มอก. 566 ได้ให้คำนิยามของรูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมไว้ดัง ตารางที่ 9-2 และ ตารางที่ 9-3

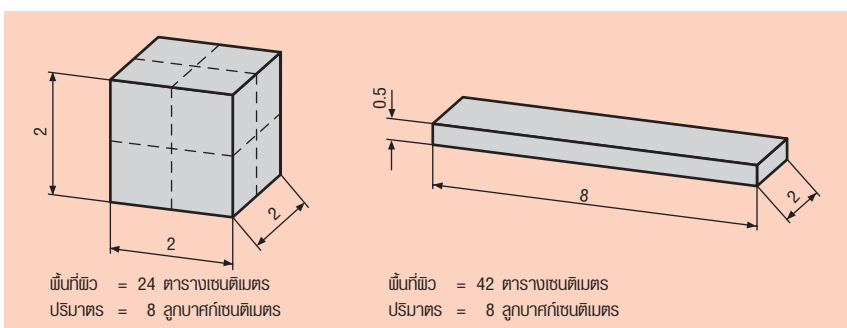


ก) รูปร่างของมวลรวมหยาบที่มีระดับความยาวเรียวแตกต่างกัน

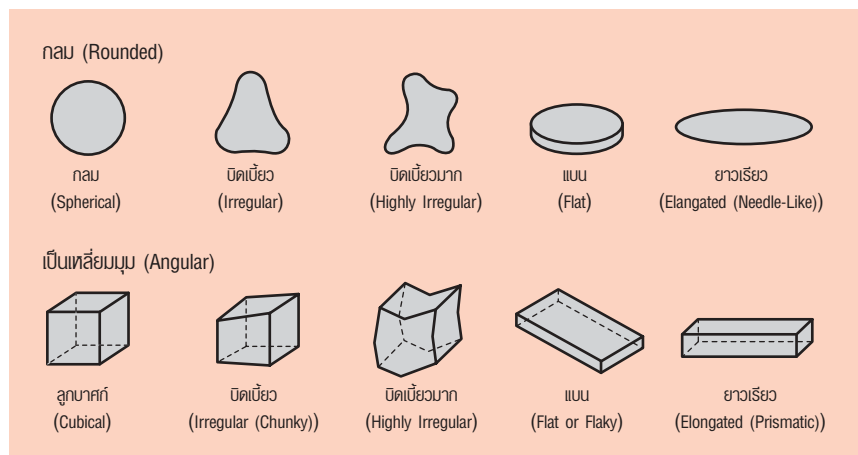


ข) เครื่องมือทดสอบความยาวเรียวของมวลรวมหยาบ (Length Gauge)

รูปที่ 9-39 การทดสอบความยาวเรียว (Elongation)



รูปที่ 9-40 อนุภาคมวลรวมที่มีรูปร่างยาวเรียวกว่า จะมีพื้นที่ผิวมากกว่า ทำให้คอนกรีตมีความต้องการซีเมนต์เพสต์ในการเคลือบผิวมวลรวมมากกว่าด้วย



รูปที่ 9-41 การแบ่งชนิดของมวลรวมตามรูปร่างของอนุภาค

การแบ่งประเภท	ลักษณะ	ตัวอย่าง
กลม	เกลี้ยง ไม่มีเหลี่ยม เนื่องจากถูกน้ำกัดเซาะ หรือจากการเสียดสีกันเอง	กรวดทรายจากแม่น้ำ หรือชายทะเล
ไม่สม่ำเสมอ หรือมีส่วนกลมอยู่บ้าง	ไม่สม่ำเสมอโดยธรรมชาติ หรือถูกเสียดสีมาบ้าง และมีเหลี่ยมมน	กรวดทรายที่ได้จากบ่อหิน เหล็กไฟที่ได้จากพื้นดิน หรือขุดขึ้นมา หินรูปลูกบาศก์
เหลี่ยม	มีเหลี่ยม เกิดจากด้านที่เรียบ มาบรรจบกันและเห็นได้ชัด	หินที่ย่อยจากเครื่องไม่ทุกแบบ หินที่ตกตามไหล่เขา
แบน	วัสดุที่มีความหนาไม่มาก เมื่อเทียบกับความกว้างหรือความยาว ปกติจะเป็นเหลี่ยมด้วย	หินที่มีลักษณะเป็นชิ้น

ตารางที่ 9-2 การแบ่งประเภทและลักษณะของมวลรวม ตาม มอก. 566

เนื้อผิว	ตัวอย่าง
สไลคล้ายแก้ว	หินเหล็กไฟดำ
เรียบ	หินเชิร์ต หินชนวน หินอ่อน และหินโรโอไลต์บางชนิด
เป็นเม็ด	หินทราย หินอุไร
เป็นพริก	อย่างละเอียด : บะซอลต์ แกรนโคท แกรโนไฟร์ อย่างกลาง : ไดโอไรต์ แกรโนไฟร์ แกรนูไลต์ ไมโครแกรนิต หินปูนบางชนิด และหินโดโลไมต์ส่วนใหญ่ อย่างหยาบ : แกบโบร ไนส์ แกรนิต แกรโนไดโอไรต์ โซไนต์
เป็นโพรงรูปร่างหรือเป็นรูพรุน	สกอเรีย ฟิมมิช กราส

ตารางที่ 9-3 ลักษณะผิวของมวลรวม ตาม มอก. 566

5. ขนาดคละ (Gradation)

ขนาดคละของมวลรวม มีผลต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด และปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต การทำคอนกรีตที่ดีนั้น แต่ละอนุภาคของมวลรวมจะต้องถูกห่อหุ้มด้วยซีเมนต์เพสต์ไม่ว่ามวลรวมนั้นจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ตาม นอกจากนี้ มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อนำมาผสมรวมกันแล้ว อนุภาคมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าจะต้องบรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่าให้มากที่สุด ซึ่งจะมีผลทำให้ประหยัดซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ยึดมวลรวมเข้าด้วยกัน รวมทั้งอุดช่องว่างระหว่างมวลรวม ดังนั้นการใช้มวลรวมที่มีขนาดคละที่เหมาะสม จึงทำให้ช่วยลดปริมาณซีเมนต์เพสต์ลง และช่วยประหยัดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตลงได้



รูปที่ 9-42 ขนาดต่าง ๆ ของมวลรวม

9.9 คุณสมบัติที่ต้องใช้พิจารณาในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ผู้ออกแบบต้องทราบถึงคุณสมบัติของมวลรวมดังนี้

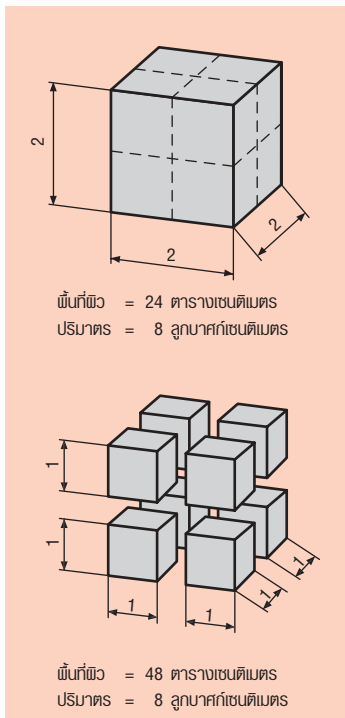
1. ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวม
2. ขนาดคละ
3. ปริมาณความชื้นและการดูดซึม
4. ความถ่วงจำเพาะ
5. หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง

9.9.1 ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวม (Maximum Size of Aggregate)

ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมที่ใช้ พิจารณาได้จากการหาส่วนคละของมวลรวม แล้วดูผลจากเปอร์เซ็นต์ที่ค้างมากกว่าหรือเท่ากับ 15% ให้นับขนาดตะแกรงอันที่ใหญ่กว่านั้นขึ้นไปอีกหนึ่งชั้น เป็นขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมนั้น ดังแสดงในตัวอย่าง

พิจารณา ตารางที่ 9-4 จากผลการวิเคราะห์ จะเห็นว่าตะแกรงร่อนใหญ่ที่สุดที่มีมวลรวมค้างบนตะแกรงร่อน (เปอร์เซ็นต์ค้าง) เกิน 15% คือตะแกรงร่อน 1/2 นิ้ว ขนาดของตะแกรงร่อนที่ใหญ่กว่านี้หนึ่งชั้น คือ ตะแกรงร่อน 3/4 นิ้ว ดังนั้นขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมนี้คือ 3/4 นิ้ว

ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมที่ใช้มีผลโดยตรงกับปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการ กล่าวคือ มวลรวมที่มีขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวโดยรวมน้อยกว่ามวลรวมที่ขนาดเล็กเมื่อน้ำหนักของมวลรวมเท่ากัน ดังนั้นมวลรวมขนาดใหญ่จึงต้องการปริมาณน้ำและปูนซีเมนต์น้อยกว่า เพื่อให้มีความสามารถในการเทได้เท่ากัน โดยกำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นถ้าใช้มวลรวมขนาดใหญ่ขึ้น เพราะสามารถลดน้ำหรือลดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ลงได้นั่นเอง



รูปที่ 9-43 อนุภาคมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่า จะมีพื้นที่ผิวมากกว่า ทำให้คอนกรีตมีความต้องการซีเมนต์เพสต์ในการเคลือบผิวมวลรวมมากกว่าด้วย

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักที่ค้าง	เปอร์เซ็นต์ค้าง
1"	12	-
3/4"	1,384	7
1/2"	8,031	41
3/8"	8,676	43
เบอร์ 4	573	3
เบอร์ 8	609	3
ภาครอง	513	3
รวมน้ำหนัก	19,800	100

ตารางที่ 9-4 ตัวอย่างแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรงร่อนเบอร์ต่าง ๆ

ผู้ออกแบบจำเป็นต้องตัดสินใจเลือกขนาดที่ใหญ่ที่สุดของมวลรวม โดยมีข้อพิจารณาเลือกดังนี้

1. ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมต้องมีขนาดไม่เกิน $1/5$ ของส่วนที่แคบสุดของแบบหล่อ หรือ
 2. ขนาดไม่เกิน $3/4$ ของระยะแคบสุดระหว่างเหล็กเสริม หรือระหว่างเหล็กเสริมกับแบบหล่อ หรือ
 3. ขนาดไม่เกิน $1/5$ ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อคอนกรีตปั๊ม
- ข้อกำหนดที่กล่าวมานี้ จะหมายถึง ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ซึ่งจะมีขนาดไม่เกิน 40 มิลลิเมตร

9.9.2 ขนาดคละ (Gradation หรือ Grading)

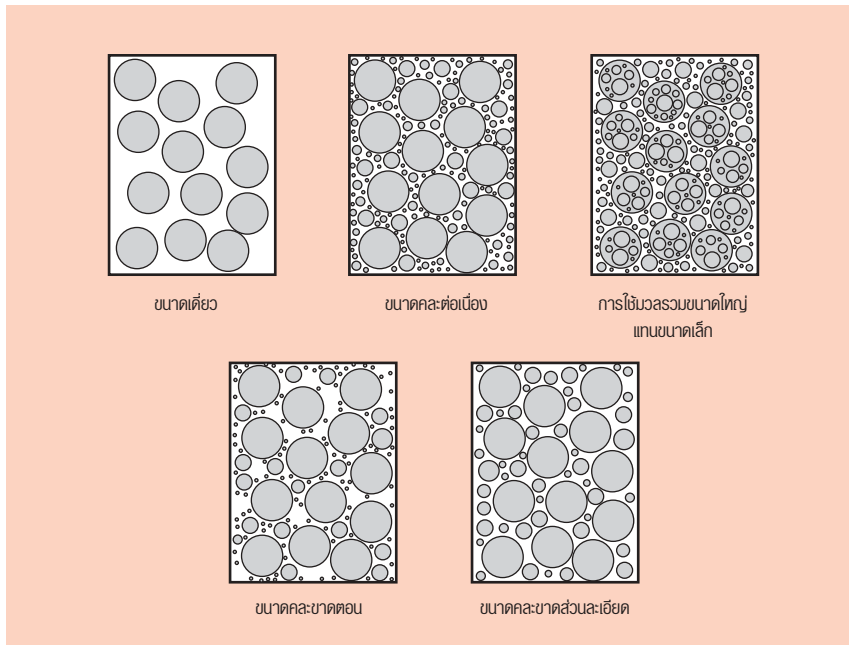
ขนาดคละ คือ การกระจายของขนาดต่างๆ ของอนุภาคมวลรวม นับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการกำหนดปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการสำหรับคอนกรีต

ขนาดคละมีผลต่อการกำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละดี จะต้องการซีเมนต์เพสต์ที่จะใช้ยึดมวลรวมเข้าด้วยกันและอุดช่องว่างระหว่างมวลรวมน้อยกว่า จึงช่วยประหยัดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต นอกจากนี้ขนาดคละยังส่งผลต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีต การทำให้คอนกรีตแน่น และการปาดแต่งผิวหน้าคอนกรีตอีกด้วย

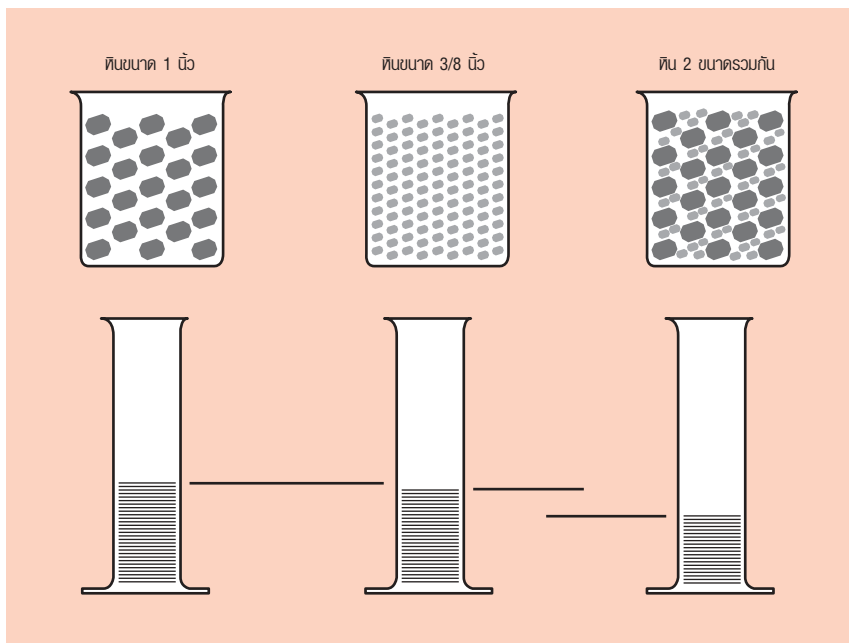
รูปที่ 9-45 แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำที่ต้องการเพิ่มเติมให้เต็มช่องว่างเมื่อใช้หิน 2 ขนาดคละกัน จะน้อยกว่าเมื่อใช้หินเพียงขนาดเดียว (Single Size) นั่นคือ ปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวมลดลง ถ้าใช้หินและทรายหลายขนาดที่ลดหลั่นมาผสมกันโดยมีสัดส่วนที่พอเหมาะแล้ว จะทำให้ช่องว่างเหลือน้อยที่สุด และใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุด ซึ่งก็คือคอนกรีตจะมีราคาต่ำลง

● การวิเคราะห์ขนาดคละ

การวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวม ทำได้โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างมวลรวมปริมาณหนึ่งมาร่อนบนตะแกรงมาตรฐานขนาดต่าง ๆ ซึ่งวางเรียงกันตามขนาดช่องว่างของตะแกรงจากขนาดใหญ่สุดข้างบนถึงขนาดเล็กสุด และภาครองด้านล่าง แล้วทำการร่อน



รูปที่ 9-44 การเรียงตัวของมวลรวมที่มีขนาดคละต่าง ๆ กัน



รูปที่ 9-45 มวลรวมที่มีขนาดคละดี จะต้องการปริมาณน้ำผสมคอนกรีตน้อย

อาจใช้มือโยกเขย่าหรือใช้เครื่องร่อน การร่อนจะทำโดยใช้ตะแกรงเคลื่อนไหวทั้งแนวราบและแนวตั้ง รวมทั้งการตบเขย่าเพื่อให้ตัวอย่างมวลรวมเคลื่อนไหวอยู่บนตะแกรงตลอดเวลา ภายหลังการร่อนมวลรวม จะนำค่าที่ได้มาบันทึก ดังตัวอย่างใน ตารางที่ 9-5 ซึ่งประกอบด้วย



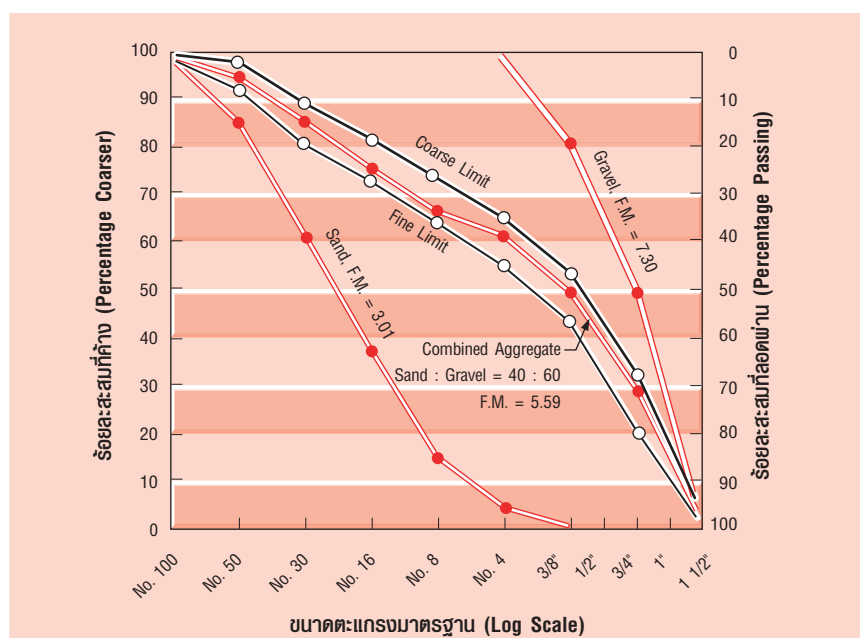
ขนาดตะแกรง มาตรฐาน	ช่องที่ 1 น้ำหนักที่ค้าง บนตะแกรง (กรัม)	ช่องที่ 2 ร้อยละที่ค้าง บนตะแกรง	ช่องที่ 3 ร้อยละสะสม ที่ค้างบนตะแกรง	ช่องที่ 4 ร้อยละสะสม ที่ผ่านตะแกรง
เบอร์ 4	32	2.0	2.0	98.0
เบอร์ 8	90	5.9	7.9	92.1
เบอร์ 16	211	13.7	21.6	78.4
เบอร์ 30	530	34.5	56.1	43.9
เบอร์ 50	530	34.5	90.6	9.4
เบอร์ 100	140	9.1	99.7	0.3
ภาครอบง	5	0.3	100.0	0.0
น้ำหนักรวม	1,538	100.0		

ตารางที่ 9-5 ตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ขนาดผลของมวลรวม

- ช่องที่ 1 น้ำหนักของมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละขนาด
- ช่องที่ 2 ค่าร้อยละของมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละขนาด
- ช่องที่ 3 ค่าร้อยละสะสมของมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรง
- ช่องที่ 4 ค่าร้อยละสะสมของมวลรวมที่ผ่านตะแกรง

● กราฟขนาดผล

กราฟขนาดผลของมวลรวม คือ การแสดงผลการวิเคราะห์ขนาดผลของมวลรวมด้วยกราฟ โดยให้แกนตั้งแสดงน้ำหนักร้อยละสะสมของมวลรวมที่ค้าง หรือผ่านตะแกรงแต่ละขนาด แกนนอนแสดงขนาดช่องเปิดของตะแกรง กราฟที่ใช้ควรเป็นแบบ Semi-Log Scale โดยมี Log Scale บนแกนนอน โดยทั่วไปแผนภูมิขนาดผลจะประกอบด้วยเส้นกราฟแสดงขีดจำกัดล่าง, เส้นกราฟแสดงขีดจำกัดบน ตามข้อกำหนด และกราฟขนาดผลของมวลรวมจากผลการทดสอบขนาดผล ดังแสดงใน รูปที่ 9-46



รูปที่ 9-46 กราฟขนาดผลของมวลรวม

- โมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus; F.M.)

โมดูลัสความละเอียด คือ ตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในมวลรวม โดยที่

$$\text{โมดูลัสความละเอียด (F.M.)} = \frac{\text{ผลบวกของร้อยละสะสมของอนุภาคที่ค้ำบนตะแกรงมาตรฐาน}}{100}$$

ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ คือ ขนาด เบอร์ 4, 8, 16, 30, 50, และ 100

ตัวอย่างการหาค่า F.M. ของทราย จาก ตารางที่ 9-5 หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{F.M.} &= (2 + 7.9 + 21.6 + 56.1 + 90.6 + 99.7) / 100 \\ &= 2.78 \end{aligned}$$

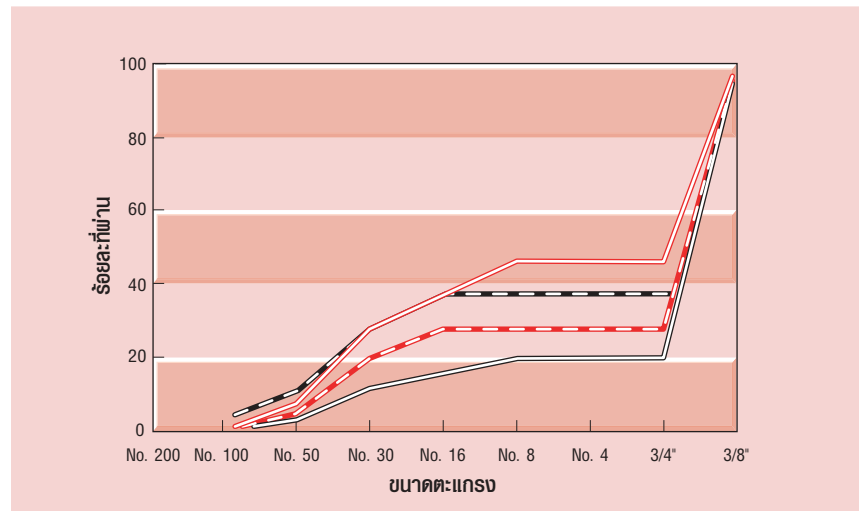
ทรายสำหรับผลิตคอนกรีตควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดตั้งแต่ 2.3 - 3.2 ทรายที่มีค่า F.M. สูงกว่า จะมีความหยาบมากกว่า เช่น ทรายที่มีค่า F.M. = 3.2 จะมีความหยาบมากกว่าทรายที่มีค่า F.M. = 2.3 เป็นต้น ทรายที่มีความละเอียดมากจำเป็นต้องใช้น้ำมากเพื่อให้ได้ความสามารถเท่า ๆ กัน

- ข้อจำกัดอื่น ๆ เกี่ยวกับขนาดคละ

ปริมาณอนุภาคละเอียดที่ผ่านตะแกรง เบอร์ 50 และ 100 มีผลต่อความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตสด, การปาดแต่งผิวหน้า, และการเยิ้ม (Bleeding) ของน้ำบนผิวคอนกรีตสด นอกจากนี้อ่อนภาคขนาดเล็ก ๆ ยังช่วยให้คอนกรีตยึดเกาะตัวกันได้ดี มาตรฐาน ASTM C 33 กำหนดปริมาณอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 ขึ้นต่ำเท่ากับ 10% แต่ปริมาณนี้ไม่เพียงพอสำหรับการปาดแต่งผิวหน้าด้วยเครื่องมือ ปริมาณที่ควรจะมีคือ ผ่านเบอร์ 50 อย่างน้อย 15% และเบอร์ 100 อย่างน้อย 5% แต่ต้องมีให้มีอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 5% เพราะอนุภาคขนาดเล็กนี้มักประกอบด้วยดินเหนียวซึ่งมีผล 2 ประการใหญ่ คือ จะต้องใช้ปริมาณน้ำมาก และเสถียรภาพทางปริมาตรของคอนกรีตจะไม่ดีด้วย

- ขนาดคละขาดตอน (Gap Grading)

ขนาดคละขาดตอน คือ มวลรวมที่ขาดอนุภาคขนาดกลางขนาดใดขนาดหนึ่งหรือหลายขนาด ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถเท่าใด เมื่อนำมวลรวมนี้ไปผสมคอนกรีต สำหรับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวสูงจะเกิดปัญหาการแยกตัว (Segregation) ได้ง่าย



รูปที่ 9-47 ลักษณะกราฟของมวลรวมที่มีขนาดละเอียดตอน

9.9.3 ปริมาณความชื้นและการดูดซึม (Moisture and Absorption)

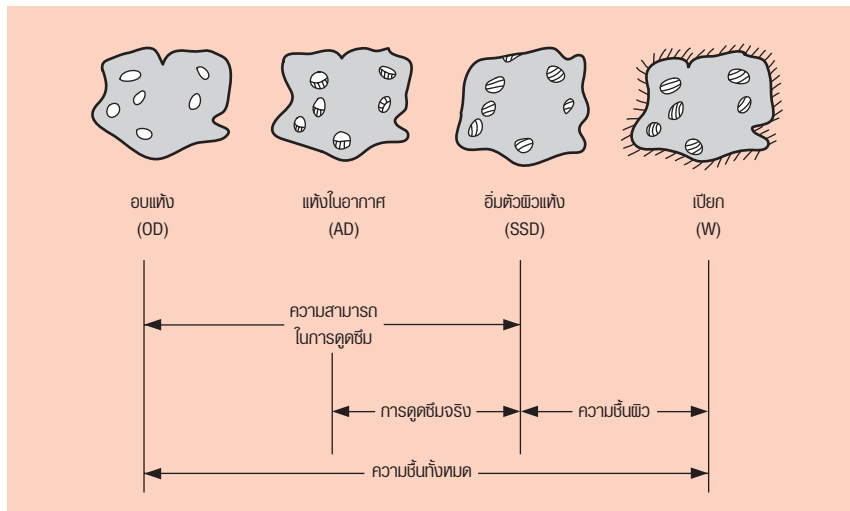
มวลรวมมีรูพรุนภายในบางส่วนที่ติดต่อกับผิวนอก ดังนั้นมวลรวมจึงสามารถดูดความชื้น นอกจากนี้น้ำบางส่วนยังสามารถเกาะบริเวณผิวของมวลรวม ดังนั้นมวลรวมที่เก็บอยู่ในสภาพธรรมชาติจึงมีความชื้นต่าง ๆ กันไป สภาพความชื้นนี้มีผลต่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต คือ หากมวลรวมอยู่ในสภาพแห้งก็จะดูดน้ำผสมเข้าไป ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จริงลดลง หากเปียกขึ้นก็ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จริงสูงกว่าที่ควรจะเป็น

● สภาพความชื้น

อาจแบ่งสภาพความชื้นของมวลรวมออกได้เป็น 4 ลักษณะ ดังนี้

1. อบแห้ง (Oven-Dry; OD) ความชื้นถูกขับออกด้วยความร้อนในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศา จนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 12 ชั่วโมง)
2. แห้งในอากาศ (Air-Dry; AD) ผิวแห้ง แต่อาจมีน้ำในรูพรุนบางส่วน หินน้อยและกรวดโดยทั่วไปที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตจะมีสภาพความชื้นแห้งในอากาศ
3. อิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated-Surface-Dry; SSD) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำ แต่ผิวแห้ง เป็นสภาพความชื้นของมวลรวมที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต
4. เปียก (Wet; W) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำ และมีน้ำบนผิวด้วย ทราบโดยทั่วไปที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตจะมีสภาพความชื้นเปียก

ในการคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีตทุกครั้ง จะถือว่ามวลรวมอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง แล้วจึงปรับปริมาณน้ำตามสภาพความชื้นจริงของมวลรวม ความชื้นทั้งหมดที่อยู่ในมวลรวมในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งนั้นจะเรียกว่า “ความสามารถในการดูดซึม” ผลต่างของความชื้นในลักษณะอิ่มตัวผิวแห้งกับความชื้นในลักษณะแห้งในอากาศเรียกว่า “การดูดซึมจริง”



รูปที่ 9-48 สภาพความชื้นของมวลรวม

● ปริมาตรเพิ่มของทราย (Bulking of Sand)

ตามปกติมวลรวมทรายในสภาพเก็บรักษาจะอยู่ในสภาพแห้งในอากาศโดยมีปริมาณการดูดซึมจริงน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ส่วนมวลรวมละเอียดมักจะเปียกและมีความชื้นบนผิวระหว่าง 3 - 6 เปอร์เซ็นต์

เหตุที่มวลรวมละเอียดมีปริมาณเพิ่มมากเพราะปริมาณน้ำที่เคลือบอยู่บนผิวอนุภาค นอกจากนั้นความตึงของผิวน้ำยังทำให้ความหนาของน้ำที่เคลือบผิวสูงขึ้นและผลักดันให้อนุภาคของมวลรวมละเอียดห่างออกจากกัน ซึ่งเราเรียกว่า **Bulking** มีผลทำให้การหาส่วนผสมคอนกรีตด้วยการตวงปริมาตรมีโอกาสผิดพลาด เราจึงควรใช้วิธีชั่งน้ำหนักแทน และการหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมควรทำในสภาพอบแห้ง เมื่อเพิ่มปริมาณความชื้นบนผิวละเอียดจนเปียก แรงตึงผิวจะหายไป ดังนั้นจึงมีปริมาตรลดลงเหมือนสภาพอบแห้งดัง **รูปที่ 9-49**

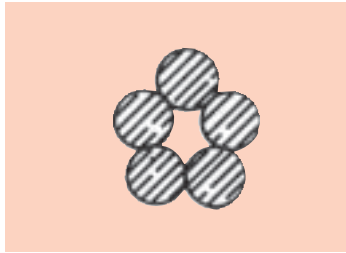
9.9.4 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของมวลรวมต่อความหนาแน่นของน้ำ ความถ่วงจำเพาะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของมวลรวม และรูพรุนภายในอนุภาคมวลรวม มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในประเทศไทยจะมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7 และ 2.65 ตามลำดับ ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะในการแปลงปริมาตรเป็นน้ำหนักหรือกลับกัน

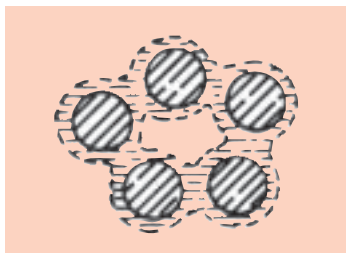


9.9.5 หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง (Unit Weight and Voids)

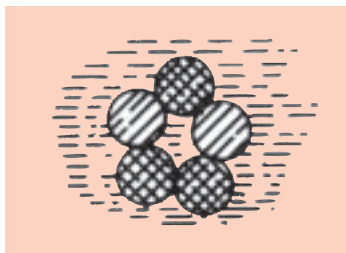
หน่วยน้ำหนักของมวลรวม คือ น้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร หน่วยน้ำหนักจะบอกถึงปริมาตรและช่องว่างระหว่างมวลรวม ที่มวลรวมน้ำหนักหนึ่ง ๆ จะบรรจุลงได้ ดังนั้น หน่วยน้ำหนักย่อมขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปร่าง และขนาดคละของมวลรวม สภาพความชื้นของมวลรวม และระดับของการบดอัด เราใช้หน่วยน้ำหนักในการคำนวณหาปริมาตรเมื่อใช้วิธีตวงในการวัดส่วนผสมของคอนกรีต หน่วยน้ำหนักของมวลรวมที่ใช้อยู่ทั่วไปในประเทศไทยมีค่า 1,300 - 1,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การนำเอามวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดมาผสมกันด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ จะมีผลต่อหน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสมดังแสดงใน **รูปที่ 9-50** ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหน่วยน้ำหนักสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อใช้มวลรวมละเอียด 34 - 40% โดยน้ำหนัก ดังนั้น ถ้าคำนึงถึงเฉพาะราคาคอนกรีต (ใช้ซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุด) เราควรใช้เปอร์เซ็นต์ทรายในช่วงดังกล่าว แต่ในทางปฏิบัติต้องคำนึงความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตอีกด้วย



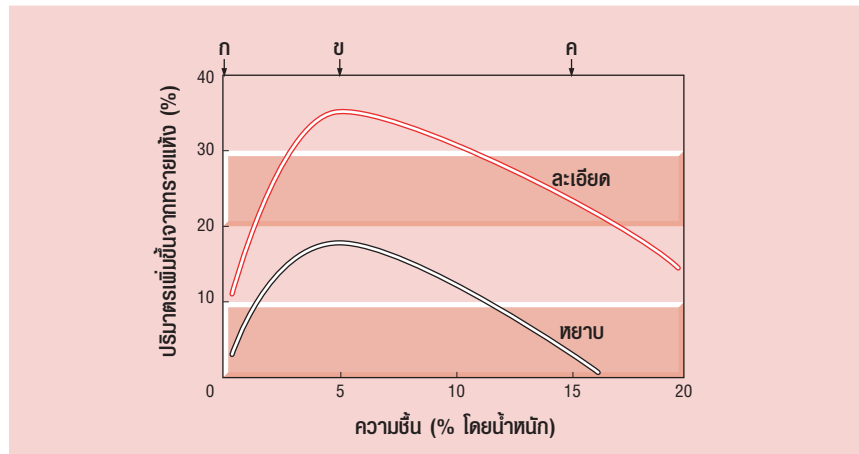
ก) ทรายหยาบ



ข) ทรายขึ้นเล็กน้อย

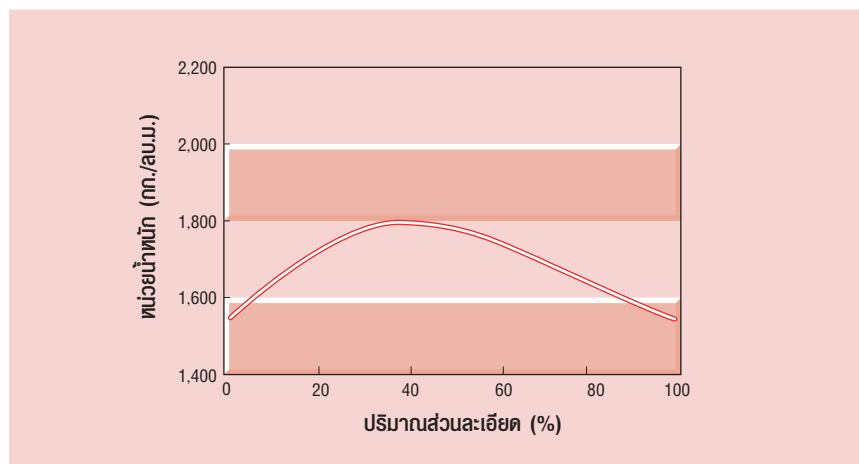


ค) ทรายเปียกมาก



ง) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับปริมาตรเพิ่มของทราย

รูปที่ 9-49 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับปริมาตรเพิ่มของทราย



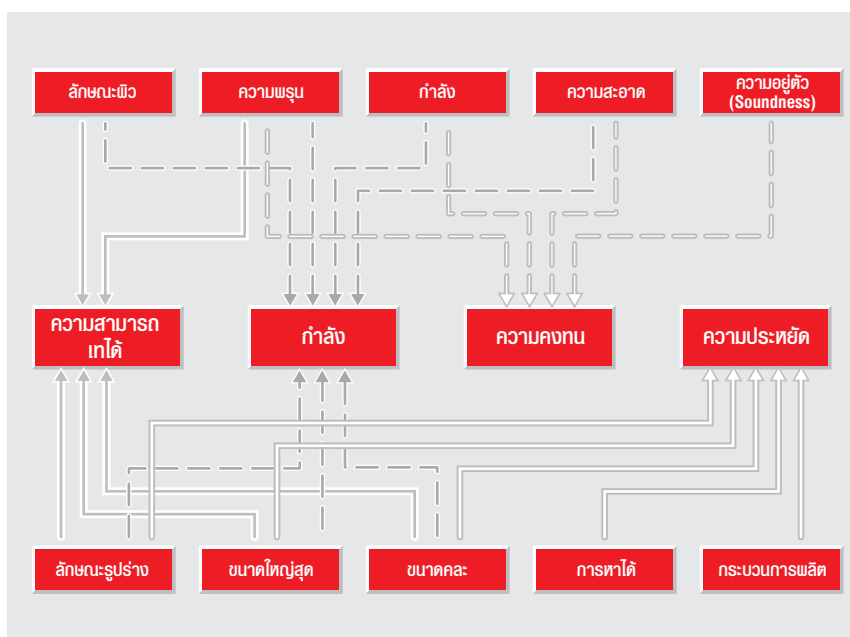
รูปที่ 9-50 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณมวลรวมละเอียด

9.10 คุณสมบัติของมวลรวมที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

คุณสมบัติของมวลรวมจะส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ดังแสดงใน ตารางที่ 9-6

คุณสมบัติของคอนกรีต	คุณสมบัติของมวลรวมที่เกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์
ความคงทน	
การต้านทานต่อ Freezing และ Thawing	Soundness, ความพรุน, โครงสร้างของรูพรุนในเนื้อมวลรวม, การซึมผ่านของน้ำ, ปริมาณการอัดตัว, การรับแรงดึง, ลักษณะและโครงสร้างของผิว, สิ่งเจือปน
การต้านทาน Wetting และ Drying	โครงสร้างของรูพรุนในเนื้อมวลรวม, โมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม
การต้านทาน Heating และ Cooling	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน
การต้านทานต่อการสึกกร่อน	ความแข็ง
การทำปฏิกิริยากับ Alkali ในคอนกรีต	ปริมาณของ Siliceous ที่เป็นส่วนประกอบ
กำลัง	กำลัง, ลักษณะผิว, ความสะอาด, รูปร่าง, ขนาดใหญ่สุด
Shrinkage และ Creep	โมดูลัสยืดหยุ่น, รูปร่างของมวลรวม, ขนาดผล, ความสะอาด, ขนาดใหญ่สุด, และสิ่งเจือปน
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน, โมดูลัสยืดหยุ่น
การนำความร้อน	การนำความร้อน
ความร้อนจำเพาะ	ความร้อนจำเพาะ
หน่วยน้ำหนัก	ความถ่วงจำเพาะ, รูปร่าง, ส่วนผล, ขนาดใหญ่ที่สุด
โมดูลัสยืดหยุ่น	โมดูลัสยืดหยุ่น, Poisson's Ratio
การสิ้นของผิวหน้า	แนวโน้มการขัดเป็นมันของผิวหน้า
ความประหยัด	รูปร่าง, ส่วนผล, ขนาดใหญ่ที่สุด, จำนวนชั้นตอนในการผลิต, ความยากง่ายในการจัดหามวลรวม

ตารางที่ 9-6 คุณสมบัติของมวลรวมที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต



รูปที่ 9-51 ผลกระทบของคุณสมบัติของมวลรวมที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

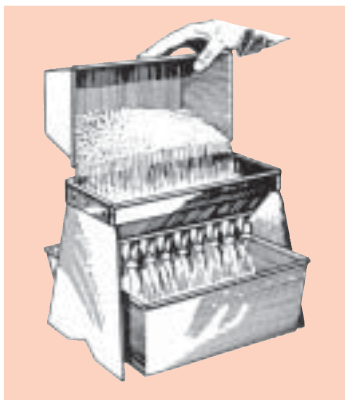


9.11 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม

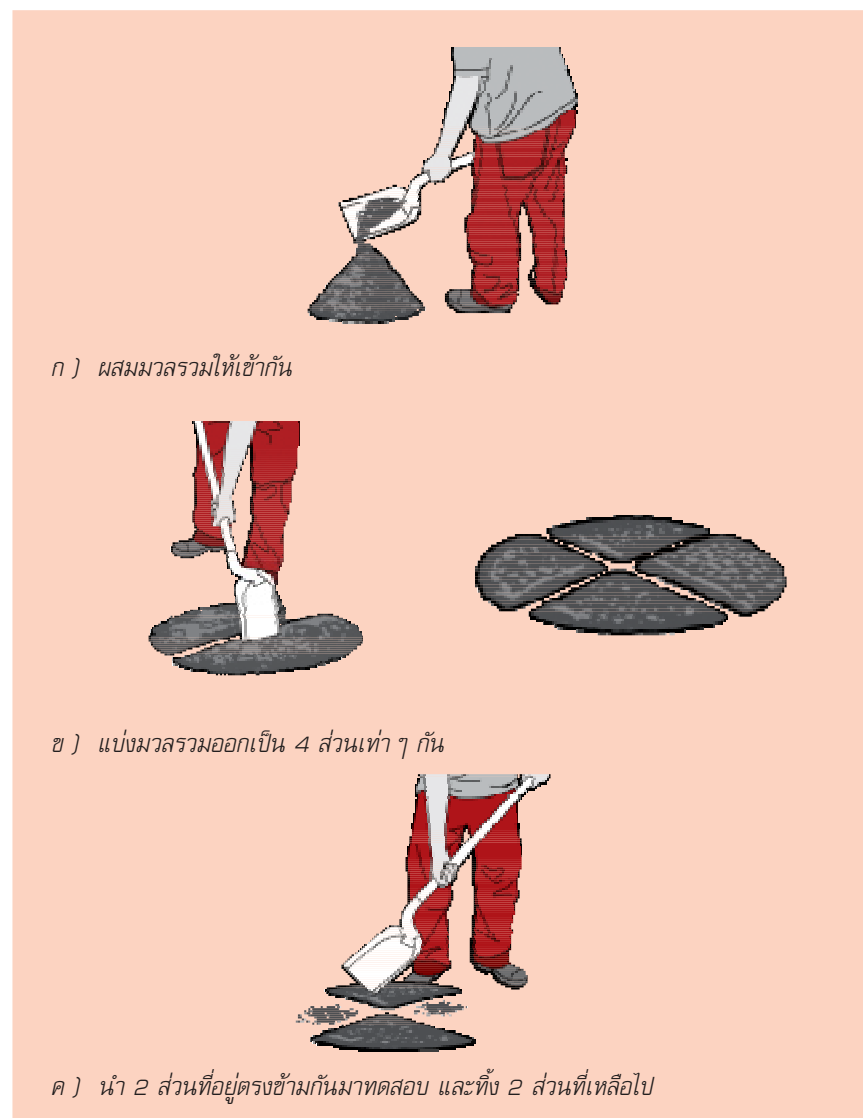
มวลรวมที่จะนำมาทดสอบนั้น ต้องได้รับการสุ่มเก็บจากต้นแหล่งหรือ ณ สถานที่กองเก็บ และต้องนำมาทำการแบ่งส่วนก่อนการทดสอบ เพื่อให้ได้ตัวแทนของตัวอย่างที่ถูกต้อง การแบ่งส่วนของตัวอย่างอาจทำได้ 2 ลักษณะ คือ

1. วิธีใช้ Riffle Sampler โดยการเทตัวอย่างมวลรวมผ่านเครื่องมือ ซึ่งจะแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน ผ่านช่องเปิด ดังแสดงใน **รูปที่ 9-52**

2. วิธีแบ่งสี่ โดยการผสมมวลรวม จากนั้นแบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน นำ 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามกันมาทดสอบ และทิ้ง 2 ส่วนที่เหลือไป ดังแสดงใน **รูปที่ 9-53**



รูปที่ 9-52 การแบ่งส่วนตัวอย่างโดยใช้ Riffle Sampler



รูปที่ 9-53 วิธีแบ่งสี่

การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

การทดสอบกลุ่มที่ 1 ทดสอบหาคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมวลรวมนี้มาผสมคอนกรีต เช่น กำลัง, ลักษณะรูปร่างและผิว, ความถ่วงจำเพาะ, การดูดซึมน้ำ, ความต้านทานการขัดสี, และหน่วยน้ำหนัก ซึ่งการทดสอบคุณสมบัตินี้จะทดสอบเฉพาะเมื่อเปลี่ยนแหล่งมวลรวมใหม่ หรือเมื่อสงสัยคุณภาพเท่านั้น

การทดสอบกลุ่มที่ 2 ทดสอบหาคุณสมบัติทั่วไป เช่น ขนาดผล, ความชื้น, และสิ่งเจือปนต่าง ๆ ซึ่งจะต้องทำการทดสอบอย่างสม่ำเสมอ

ถ้าแบ่งการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม ตามวิธีการทดสอบ สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ดัง ตารางที่ 9-7

การทดสอบทางฟิสิกส์ (Physical Tests)	การทดสอบทางกล (Mechanical Tests)	การทดสอบทางเคมี (Chemical Tests)
- ขนาดผล: - รูปร่างและลักษณะผิว - ความหนาแน่น - ความถ่วงจำเพาะ - การดูดซึมน้ำ - การทดสอบ	- การทดสอบกำลัง - Impact Value - Crushing Value - 10% Fine - ความคงทน - ความต้านทานการขัดสี - Attrition	- ปริมาณคลอไรด์ - ปริมาณซัลเฟต - ปริมาณสารอินทรีย์

ตารางที่ 9-7 ประเภทของการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม

ตารางที่ 9-8 เป็นการรวบรวมการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมสำหรับงานคอนกรีตตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา

การทดสอบ	มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา [ASTM]
ค่าจำกัดความ	C 125
ข้อกำหนดขนาดผล:	C 33
การทดสอบขนาดผล:	C 136
การสุ่มตัวอย่างเพื่อการทดสอบ	D 75
การแบ่งประเภทมวลรวม	C 294
ปริมาณดินเหนียว, ฝุ่น, Silt	C 117 C 142
ความถ่วงจำเพาะ:	
• ทึบ	C 127
• กราย	C 128
ปริมาณความชื้น	C 70
สารอินทรีย์	C 40
ความอยู่ตัว (Soundness)	C 88
Alkali-Aggregate Reaction	C 289
หน่วยน้ำหนัก	C 29
ความต้านทานการขัดสี	C 131

ตารางที่ 9-8 มาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม



9.12 ข้อกำหนดคุณสมบัติทั่ว ๆ ไปของมวลรวมสำหรับงานคอนกรีต

1. ขนาดผละของมวลรวม

ข้อกำหนดผละของมวลรวม ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 9-9



ก) ตะแกรงร่อนมาตรฐาน



ข) เครื่องร่อนทราย

มวลรวมละเอียด		มวลรวมหยาบขนาด 1" - No. 4		มวลรวมหยาบขนาด 3/4" - No. 4
ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ผ่าน	ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ผ่าน	เปอร์เซ็นต์ผ่าน
3/8"	100	1 1/2"	100	-
เบอร์ 4	95 - 100	1"	95 - 100	100
เบอร์ 8	80 - 100	3/4"	-	90 - 100
เบอร์ 16	50 - 85	1/2"	25 - 60	-
เบอร์ 30	25 - 60	3/8"	-	20 - 55
เบอร์ 50	5 - 30	เบอร์ 4	0 - 10	0 - 10
เบอร์ 10	0 - 10	เบอร์ 8	0 - 5	0 - 5

ตารางที่ 9-9 ข้อกำหนดขนาดผละของมวลรวม

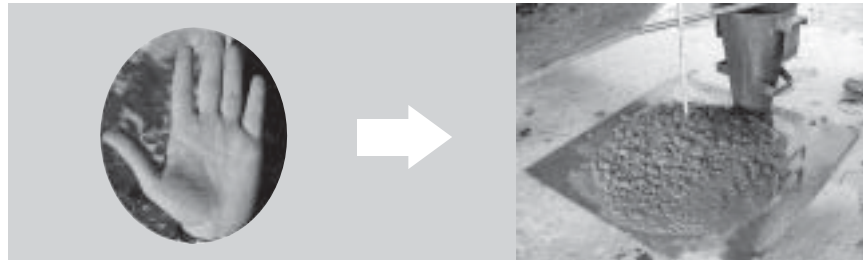
2. สิ่งเจือปนต่าง ๆ

ข้อกำหนดสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในมวลรวม ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 9-10

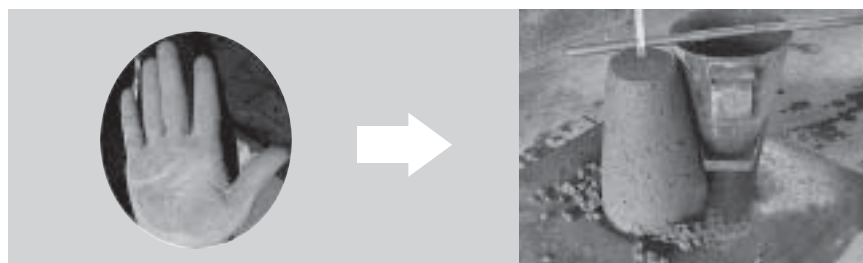


ค) เครื่องร่อนหิน

รูปที่ 9-54 การทดสอบขนาดผละของมวลรวม



ก) ทรายสะอาด มีปริมาณฝุ่นทรายติดอยู่ที่ฝ่ามือน้อย ทำให้คอนกรีตมีค่ายุบตัวสูงกว่า



ข) ทรายสกปรก มีปริมาณฝุ่นทรายติดอยู่ที่ฝ่ามือมาก ทำให้คอนกรีตมีค่ายุบตัวต่ำกว่า

รูปที่ 9-55 การตรวจสอบความสะอาดของทรายอย่างง่าย ด้วยการลองขยี้ทรายแล้วสังเกตดูปริมาณฝุ่นทรายที่ติดอยู่ที่ฝ่ามือ โดยคอนกรีตที่ใช้ทรายสกปรก จะมีความต้องการปริมาณน้ำผสมคอนกรีตมากกว่า ถ้ายังคงปริมาณน้ำเท่ากับกรณีใช้ทรายสะอาด จะทำให้สภาพเนื้อคอนกรีตที่ใช้ทรายสกปรกแห้งมากกว่า จึงมีค่ายุบตัวต่ำกว่า

สิ่งเจือปน	ผลต่อคอนกรีต	ข้อกำหนดสูงสุด (%โดยน้ำหนัก)	
		มวลรวมละเอียด	มวลรวมหยาบ
- วัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า 75 μm หรือตะแกรงเบอร์ 200 - มวลรวมสำหรับงานกันการกัดสี - มวลรวมสำหรับงานคอนกรีตทั่วไป	กระทบต่อความสามารถได้		
	ต้องเพิ่มน้ำในส่วนผสม	3	1
		5	1
ก้อนดินและวัสดุเปราะอื่นๆ	กระทบต่อความสามารถได้และความต้านทานการกัดสี	3	5
ถ่านและลิกไนต์	กระทบต่อความคงทนและก่อให้เกิดรอยเปื้อนบนผิว	0.5 - 1.0	0.5
Chert (ที่ความถี่จำเพาะน้อยกว่า 2.4)	กระทบต่อความคงทน	-	5

ตารางที่ 9-10 ข้อกำหนดสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในมวลรวม

3. ความต้านทานการขัดสี (Abrasion Resistance)

มวลรวมหยาบต้องมีค่าการสึกกร่อนหรือความต้านทานการขัดสีไม่เกินที่กำหนดไว้ตาม มอก. 566 เพื่อให้คอนกรีตมีความคงทน โดยเฉพาะในโครงสร้างคอนกรีตประเภทที่ต้องรับแรงกระแทกหรือแรงขัดสี เช่น พื้นถนน, พื้นโรงงาน, และพื้นสนามบิน เป็นต้น

ทดสอบโดยเครื่อง แล้วส่วนที่แตกออกต้องไม่เกิน 50% สำหรับงานคอนกรีตทั่วไป และไม่เกิน 40% สำหรับงานคอนกรีตที่ต้องทนการขัดสี

4. ความอยู่ตัว (Soundness)

ความอยู่ตัวของมวลรวมมีผลต่อความคงทนของคอนกรีต โดยเฉพาะภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีซัลเฟตสูง

การทดสอบความอยู่ตัวของมวลรวม ตามมาตรฐาน ASTM C 88 เป็นการทดสอบความต้านทานต่อการสลายตัวของมวลรวม ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต หรือแมกนีเซียมซัลเฟต แต่โดยทั่วไปจะทดสอบในแมกนีเซียมซัลเฟต โดยแช่จำนวน 5 รอบ แล้วน้ำหนักจะต้องสูญเสียไปไม่เกิน 18% สำหรับมวลรวมหยาบ และไม่เกิน 15% สำหรับมวลรวมละเอียด (ถ้าใช้โซเดียมซัลเฟต น้ำหนักจะต้องสูญเสียไปไม่เกิน 12% สำหรับมวลรวมหยาบ และไม่เกิน 10% สำหรับมวลรวมละเอียด)

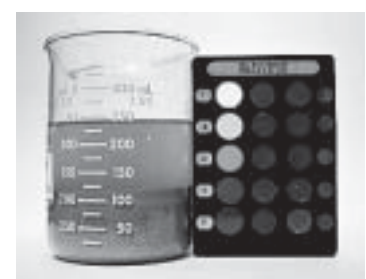
5. สารอินทรีย์ที่เจือปนในมวลรวมละเอียด

สารอินทรีย์ที่เจือปนในมวลรวมละเอียด มีผลต่อเวลาการก่อตัว, กำลังอัด, และความคงทนของคอนกรีต

ทดสอบโดยการแช่ทรายไว้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 3% แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นเปรียบเทียบสีของสารละลายที่ได้กับแผ่นกระจกสีมาตรฐาน ถ้าสีของสารละลายเข้มกว่าสีมาตรฐานเบอร์ 3 จะถือว่าทรายนั้นมีสารอินทรีย์เจือปนมากเกินไป ข้อกำหนด ถ้าต้องใช้ผสมคอนกรีตจะต้องทำการทดสอบคุณสมบัติตัวอย่างอื่นประกอบอีกครั้ง



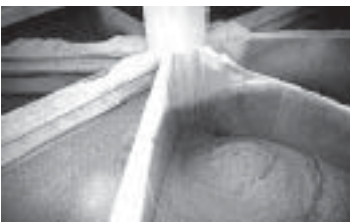
รูปที่ 9-56 เครื่องทดสอบแรงเสียดสี สำหรับการทดสอบความต้านทานการขัดสีของมวลรวม



รูปที่ 9-57 การทดสอบสารอินทรีย์เจือปนในทราย



รูปที่ 9-58 ความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction; AAR)



รูปที่ 9-59 การกองเก็บมวลรวมในโรงงานอุตสาหกรรมคอนกรีต มีการแยกเก็บมวลรวมเป็นสัดส่วนตามช่วงขนาดที่ใกล้เคียงกัน

6. ปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction หรือ AAR)

มวลรวมบางแหล่งสามารถทำปฏิกิริยากับต่าง (Alkali) ในปูนซีเมนต์ ทำให้คอนกรีตขยายตัว ก่อให้เกิดการแตกร้าวในคอนกรีต เช่น มวลรวมหยาบหรือมวลรวมละเอียดที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก ควรตรวจสอบการทำปฏิกิริยากับต่างในปูนซีเมนต์ก่อนนำมาใช้ผสมคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C 1260

กรณีที่ต้องใช้มวลรวมนั้นในการผสมคอนกรีต ให้ใช้ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณต่างต่ำ ซึ่งคำนวณได้จาก $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{ K}_2\text{O}$ ไม่เกิน 0.6% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ หรือใช้สารปอซโซลาน ทั้งนี้ ต้องทำการทดสอบก่อนว่า การผสมสารปอซโซลานสามารถลดการขยายตัวของคอนกรีตได้

9.13 การเก็บรักษามวลรวม

ระหว่างการขนย้ายและการกองเก็บมวลรวมไว้รอการใช้งานต่อไป อาจเกิดผลเสียคือการแยกตัวของมวลรวมขนาดต่าง ๆ กัน และการแตกหักของมวลรวม

การแยกตัวเกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวของมวลรวมในระนาบเอียง มวลรวมขนาดใหญ่ที่หนักกว่า มักไหลลงไปรวมกันใกล้เชิงระนาบเอียง ส่วนมวลรวมขนาดเล็กกว่าคงติดค้างอยู่ตอนบนของระนาบเอียง

นอกจากนี้ควรระมัดระวังการเทมวลรวมเมื่อมีลมแรง เพราะลมสามารถพัดพา มวลรวมขนาดเล็กไปได้ไกลกว่าขนาดใหญ่ วิธีการป้องกันที่ดีก็โดยการแยกเก็บมวลรวมหยาบเป็นสัดส่วนตามช่วงขนาดที่ใกล้เคียงกันออกเป็นกอง ๆ ซึ่งเราสามารถนำมารวมกันก่อนการใช้งาน ดังนั้นหากมีการแยกตัวเกิดขึ้นก็เป็นเพียงในช่วงแคบ ๆ ตามกลุ่มกองของมวลรวมที่แยกเก็บเท่านั้น สำหรับการป้องกันการแตกหักก็ด้วยการเทมวลรวมขนาดเกิน 40 มิลลิเมตร ลงในที่เก็บผ่านชั้นบันได นั่นคือไม่ควรปล่อยให้ตกจากที่สูง ๆ เพราะมวลรวมมีโอกาสแตกหักได้ง่าย

มาตรฐานอ้างอิง

- มอก. 566-2528 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มวลผสมคอนกรีต
- E.I.T.Standard 1014-46 : ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต, คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- ASTM C 29-03 : Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate
- ASTM C 33-03 : Standard Specification for Concrete Aggregates
- ASTM C 40-04 : Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete
- ASTM C 70-01 : Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate
- ASTM C 88-99 : Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate
- ASTM C 117-04 : Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing
- ASTM C 123-04 : Standard Test Method for Lightweight Particles in Aggregate
- ASTM C 125-03 : Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
- ASTM C 127-04 : Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate
- ASTM C 128-04 : Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate
- ASTM C 131-03 : Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine
- ASTM C 136-04 : Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates
- ASTM C 142-04 : Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates
- ASTM C 289-03 : Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)
- ASTM C 294-04 : Standard Descriptive Nomenclature for Constituents of Concrete Aggregates
- ASTM C 1152-04 : Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete
- ASTM C 1260-01 : Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)
- ASTM D 75-03 : Standard Practice for Sampling Aggregates
- BS EN 1744-1 : 1998 : Tests for chemical properties of aggregates---Part 1: Chemical analysis
- BS 812-105.1 : 1989 : Testing aggregates---Part 105.1: Methods for determination of particle shape---Flakiness index
- BS 812-105.2 : 1990 : Testing aggregates---Part 105.2: Methods for determination of particle shape---Elongation index of coarse aggregate



เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัยวาลย์ เศรษฐบุตร์, “คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 สง่า ตั้งขวาล, “ธรณีวิศวกรรมชั้นพื้นฐาน”, 2537.
- 3 เอกสารวิชาการของคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2547.
- 4 เอกสารวิชาการจาก “การประชุมสัมมนาทางวิชาการ บริบทใหม่ : การบริหารจัดการแหล่งทรัพยากรน้ำจืดในประเทศไทย”, กรมทรัพยากรธรณี กรมธรณีวิทยาแห่งสหราชอาณาจักร และสมาคมธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย, 2547.
- 5 I. W. Farmer, Engineering Behavior of Rocks, Second Edition, 1983.
- 6 P. Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, “Concrete Structure, Properties, and Materials”, Second Edition, 1993.
- 7 www.gsw.edu



รูปที่ 10-1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการเคมี

บทคัดย่อ

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับงานคอนกรีต โดยทำหน้าที่ 3 ประการ ได้แก่ น้ำผสมคอนกรีต, น้ำล้างมวลรวม, และน้ำบ่มคอนกรีต

คุณภาพและปริมาณของน้ำผสมคอนกรีตเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อความแข็งแรงและความคงทนของคอนกรีต น้ำผสมคอนกรีตควรสะอาด ใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และสามารถดื่มได้ หรือถ้าไม่สามารถดื่มได้ก็ควรมีคุณสมบัติผ่านข้อกำหนดของน้ำผสมคอนกรีต นอกจากนี้ น้ำผสมคอนกรีตจะต้องไม่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของคอนกรีต เช่น ความสามารถเทได้, ระยะเวลาการก่อตัว, การแข็งตัว, กำลัง, และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร อีกทั้งต้องไม่มีผลทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม โดยปกติ น้ำประปาที่มีคุณสมบัติเหมาะแก่การบริโภคจะสามารถใช้ผสมคอนกรีตได้ น้ำที่มีคลอรีน เช่น น้ำทะเล, น้ำเค็ม, และน้ำกร่อย ไม่เหมาะสำหรับผสมคอนกรีต เพราะจะทำให้เหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเป็นสนิมได้

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในส่วนผสมคอนกรีตนั้น นอกจากจะมีผลต่อความชื้นเหลวหรือความสามารถในการใช้งานของมวลหล่อของคอนกรีตแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงและความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้วด้วย

ดังนั้นการเลือกน้ำที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตจึงจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ



รูปที่ 10-2 น้ำบ่มคอนกรีตใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้นและเป็นการป้องกันปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีต

10.1 หน้าที่ของน้ำสำหรับงานคอนกรีต

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับงานคอนกรีต โดยทำหน้าที่ 3 ประการ ได้แก่

1. **น้ำผสมคอนกรีต** : ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน อันมีผลต่อความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตสด และกำลังและความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว
2. **น้ำล้างมวลรวม** : ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรกให้สะอาดพอที่จะนำมวลรวมมาใช้ผสมทำคอนกรีตได้
3. **น้ำบ่มคอนกรีต** : ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้นและเป็นการป้องกันปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีต

10.2 ปัญหาเกี่ยวกับน้ำสำหรับงานคอนกรีต

ปัญหาที่พบบ่อยเสมอเกี่ยวกับน้ำสำหรับงานคอนกรีต คือ ปัญหาเรื่องปริมาณน้ำที่ใช้ผสมทำคอนกรีต ทำให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังต่ำกว่าที่ควรจะเป็น โดยมีสาเหตุจากการใช้น้ำไม่เหมาะสมหรือไม่ถูกต้องนั่นเอง กล่าวคือ

1. **ในขณะเป็นคอนกรีตสด** คอนกรีตต้องการน้ำเพียงปริมาณหนึ่ง เพื่อให้สามารถไหลลื่นเข้าแบบหล่อได้ แต่ในทางปฏิบัติผู้ทำงานมักจะใส่น้ำปริมาณมาก จนทำให้คอนกรีตเหลวมาก เพื่อความสะดวกในการเท ซึ่งจะส่งผลทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงและความคงทนต่ำลงอย่างมาก
2. **ในขณะเป็นคอนกรีตแข็งตัวแล้ว** คอนกรีตต้องการน้ำปริมาณมาก เพื่อบ่มคอนกรีตให้กำลังอัดได้พัฒนาขึ้นตามเวลา รวมถึงเป็นการป้องกันปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีตอีกด้วย แต่ผู้ทำงานก็มักจะละเลยการบ่มคอนกรีต

10.3 คุณภาพและปริมาณของน้ำผสมคอนกรีต

คุณภาพและปริมาณของน้ำผสมคอนกรีตเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อความแข็งแรงและความคงทนของคอนกรีต

น้ำผสมคอนกรีตควรสะอาด ใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และสามารถดื่มได้ หรือถ้าไม่สามารถดื่มได้ก็ควรมีคุณสมบัติผ่านข้อกำหนดของน้ำผสมคอนกรีต นอกจากนี้ น้ำผสมคอนกรีตจะต้องไม่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของคอนกรีต เช่น ความสามารถเทได้, ระยะเวลาการก่อตัว, การแข็งตัว, กำลัง, และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร อีกทั้งต้องไม่มีผลทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม โดยปกติน้ำประปาที่มีคุณสมบัติเหมาะแก่การบริโภคจะสามารถใช้ผสมคอนกรีตได้ น้ำที่มีคลอไรด์ เช่น น้ำทะเล, น้ำเค็ม, และน้ำกร่อย ไม่เหมาะสำหรับผสมคอนกรีต เพราะจะทำให้เหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเป็นสนิมได้

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในส่วนผสมคอนกรีตนั้น นอกจากจะมีผลต่อความชื้นเหลวหรือความสามารถในการใช้งานเหลวแบบหล่อของคอนกรีตสดแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงและความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้วด้วย

10.4 การจำแนกประเภทของน้ำผสมคอนกรีต

โดยทั่วไป ความเหมาะสมของน้ำสำหรับผสมทำคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำนั้น ๆ โดยอาจจำแนกประเภทของน้ำได้ดังนี้

1. น้ำที่ดื่มได้ มีความเหมาะสมสำหรับการผสมทำคอนกรีต และไม่จำเป็นต้องมีการทดสอบ
2. น้ำหมุนเวียนจากกระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรมคอนกรีต อาจมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการผสมทำคอนกรีต แต่ควรทดสอบคุณภาพน้ำก่อน
3. น้ำจากแหล่งน้ำใต้ดิน (เช่น น้ำบาดาล) อาจมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการผสมทำคอนกรีต แต่ควรทดสอบคุณภาพน้ำก่อน
4. น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติ อาจมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการผสมทำคอนกรีต แต่ควรทดสอบคุณภาพน้ำก่อน
5. น้ำทะเล น้ำเค็ม น้ำกร่อย ไม่เหมาะสำหรับการผสมทำคอนกรีต เพราะมีคลอไรด์และซัลเฟตซึ่งเป็นอันตรายต่อเหล็กเสริมและคอนกรีต เจือปนอยู่มาก
6. น้ำเสีย ไม่เหมาะสำหรับการผสมทำคอนกรีต เพราะมักมีสารซัลเฟต ซึ่งเป็นอันตรายต่อเนื้อคอนกรีต เจือปนอยู่มาก

10.5 สิ่งเจือปนและข้อกำหนดของน้ำผสมคอนกรีต

ถ้าในน้ำผสมคอนกรีตมีสิ่งเจือปนอยู่มากเกินระดับหนึ่ง อาจก่อให้เกิดปัญหาทางด้านคุณภาพ อันได้แก่

1. กำลังและความคงทนของคอนกรีตลดลง
2. เวลาการก่อตัวเปลี่ยนแปลงไป
3. คอนกรีตเกิดการหดตัวมากกว่าปกติ
4. อาจมีการละลายของสารประกอบภายในคอนกรีตออกมาแข็งตัวบนผิวนอก

(Efflorescence)

สิ่งเจือปนที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของคอนกรีตมี 3 ประเภท คือ ตะกอน, สารละลายอินทรีย์, และสารละลายอินทรีย์ หากมีสิ่งเจือปนเหล่านี้ปริมาณน้อยก็อาจไม่ก่อให้เกิดผลเสียร้ายแรง



ข) พื้น



ก) คาน



ค) เสา

รูปที่ 10-3 อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเสียหายอย่างรุนแรง สาเหตุจากการใช้น้ำหรือทรายซึ่งมีคลอไรด์เจือปนอยู่มากมาผสมทำคอนกรีต ทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมจากการกระทำของคลอไรด์ และทำให้คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมแตกร้าวและหลุดล่อน



ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับน้ำผสมคอนกรีต จะต้องมีขอบเขตระดับความเข้มข้นไม่เกินค่าดังใน ตารางที่ 10-1

ข้อสาร	ความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (ppm หรือ มิลลิกรัมต่อลิตร)
ตะกอน หรือ สารแขวนลอย	50,000
ปริมาณซัลเฟต (SO_4^{2-})	3,000
ปริมาณคลอไรด์ (Cl^-) ⁽¹⁾	
คอนกรีตอัดแรง หรืองานสะพาน	500
คอนกรีตเสริมเหล็กหรือมีโลหะเสริมอยู่ภายใน	1,000
คอนกรีตไม่เสริมเหล็กและไม่มีโลหะฝังอยู่ภายใน	4,500
ด่าง ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{ K}_2\text{O}$)	600
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	อยู่ในช่วง 6-8

ตารางที่ 10-1 ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับน้ำผสมคอนกรีต

(1) อย่างไรก็ตาม ปริมาณคลอไรด์รวมในคอนกรีตที่ยอมรับได้ได้ในขณะที่ผสมคอนกรีตต้องมีไม่มากเกินไปกว่าที่กำหนดดังต่อไปนี้

(ปริมาณคลอไรด์รวมในคอนกรีตในขณะที่ผสมคอนกรีต หมายถึง ปริมาณคลอไรด์ไอออนที่คำนวณรวมมาได้จากคลอไรด์ที่มีอยู่ในส่วนผสมทุกชนิดของคอนกรีตต่อน้ำหนักของคอนกรีต เช่น คลอไรด์ที่มีอยู่ในมวลรวม, สารผสมเพิ่ม, น้ำผสมคอนกรีต เป็นต้น)

สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงที่หลัง (Post-tensioned Concrete) ปริมาณคลอไรด์รวมในคอนกรีต ต้องไม่เกิน 0.6 กก./ลบ.ม.

สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องการความคงทนสูง หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงก่อน (Pre-tensioned Concrete) หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงที่หลัง (Post-tensioned Concrete) ที่ต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่มีคลอไรด์ เช่น น้ำทะเล ปริมาณคลอไรด์รวมในคอนกรีต ต้องไม่เกิน 0.3 กก./ลบ.ม.

ในกรณีคอนกรีตผสมเสร็จ ควรควบคุมปริมาณคลอไรด์รวมไม่ให้มากกว่า 0.3 กก./ลบ.ม. ยกเว้นได้รับการอนุมัติจากผู้ใช้อาจควบคุมไว้ไม่เกิน 0.6 กก./ลบ.ม.



รูปที่ 10-4 พื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ใกล้ทะเล ได้รับความเสียหายอย่างรุนแรง เนื่องจากการกระทำของคลอไรด์

นอกจากนี้ ยังมีข้อกำหนดความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้และผลกระทบของสิ่งเจือปนในน้ำผสมคอนกรีต ดังใน ตารางที่ 10-2

สิ่งเจือปนในน้ำผสมคอนกรีต	ความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้ (ppm หรือ มิลลิกรัมต่อลิตร)	ผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีต
ตะกอน หรือ สารแขวนลอย เช่น ดินเลน, ฝุ่น	50,000	- อาจทำให้ต้องใช้ปริมาณน้ำมากกว่าปกติ - การหดตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้น - อาจทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของคอนกรีต (Efflorescence) - ถ้าน้ำที่ใช้ฝุ่นมาก ควรปล่อยให้ตกตะกอนเสียก่อน - บางครั้งอาจมีผลกระทบต่อการทำงานของสารกระจาย
สารละลายอินทรีย์	2,000	ตามปกติ สามารถใช้น้ำที่มีสารละลายอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 2,000 ส่วนต่อล้าน ได้อย่างปลอดภัย ยกเว้นสารละลายบางชนิด ดังรายละเอียดต่อไป
โซเดียมซิลิเฟต	100	ควรหล่อคอนกรีตเพื่อทดสอบคุณภาพ
เกลือโซเดียมคาร์บอเนต, เกลือโซเดียมไบคาร์บอเนต	1,000	พบทั่วไปในน้ำธรรมชาติ มีผลต่อการก่อตัวของปูนซีเมนต์ และทำให้คอนกรีตมีกำลังลดลง
เกลือแคลเซียมคาร์บอเนต, เกลือแมกนีเซียมคาร์บอเนต, เกลือแคลเซียมไบคาร์บอเนต, เกลือแมกนีเซียมไบคาร์บอเนต	400	- คาร์บอเนตอาจทำให้เวลาการก่อตัวลดลง - ไบคาร์บอเนตอาจเป็นตัวเร่งหรือตัวหน่วงในการก่อตัว
เกลือโซเดียมซิลิเฟต	10,000	อาจเพิ่มกำลังระยะแรก
เกลือแมกนีเซียมซิลิเฟต	40,000	แต่ในระยะยาว คอนกรีตจะมีกำลังลดลง เพราะเกลือซิลิเฟตจะทำให้การตกผลึกของ Ettringite ช้าลง
เกลือโซเดียมคลอไรด์	20,000	ทำให้การก่อตัวเร็วขึ้น
เกลือแมกนีเซียมคลอไรด์	40,000	เพิ่มกำลังระยะแรก
เกลือแคลเซียมคลอไรด์	50,000	- ทำให้กำลังในระยะยาวลดลง - บางครั้งมีการใช้สารละลายของแคลเซียมคลอไรด์เป็นสารผสมเพิ่มในคอนกรีต เพื่อใช้เป็นตัวเร่งการก่อตัว แต่ไม่เหมาะกับคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง ทั้งนี้เพราะไอออนของคลอไรด์มีผลต่อการสึกกร่อนของเหล็กได้
ฟอสเฟต (P_2O_5)	100	ลดเวลาการก่อตัว
ตะกั่ว (Pb^{2+}), และสังกะสี (Zn^{2+})	100	สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงในระดับนี้ จะพบได้เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งไม่ได้ผ่านระบบกำจัดสิ่งสกปรกหรือน้ำที่ซึมผ่านออกมาจากเหมืองแร่
อาร์ซีเนต, และบอเรต	500	
เกลือของทองแดง, แมงกานีส, และดีบุก	500	
น้ำที่เป็นกรด (กรดอินทรีย์)	10,000 pH ไม่ต่ำกว่า 4	น้ำที่เป็นกรดสูง หรือมี pH ต่ำกว่า 4 มักก่อให้เกิดปัญหาด้านการก่อตัวและกำลังของคอนกรีต
น้ำที่เป็นด่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์, โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์)	500	น้ำที่เป็นด่างสูง อาจก่อให้เกิดการก่อตัวอย่างรวดเร็ว และกำลังของคอนกรีตลดลง

ตารางที่ 10-2 ข้อกำหนดความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้และผลกระทบของสิ่งเจือปนในน้ำผสมคอนกรีต



สิ่งเจือปนในน้ำผสมคอนกรีต	ความเข้มข้นสูงสุด ที่ยอมให้ (ppm หรือ มิลลิกรัมต่อลิตร)	ผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีต
น้ำทะเล	35,000	• ในน้ำทะเลประกอบด้วยเกลือคลอไรด์และซัลเฟตของโซเดียมและแมกนีเซียม ประมาณ 3.5% ในจำนวนนี้เป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์มากถึง 78% • ทำให้คอนกรีตก่อตัวและแข็งตัวเร็วขึ้น • ทำให้คอนกรีตมีกำลังในระยะแรกเพิ่มขึ้น • แต่ในระยะยาว คอนกรีตจะมีกำลังลดลง เพราะเกลือซัลเฟตจะทำให้การตกผลึกของ Ettringite ช้าลง • ไอออนของคลอไรด์มีผลต่อการกัดกร่อนของเหล็กเสริม • ไม่ควรใช้น้ำทะเลสำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง เพราะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตเป็นสนิม • อาจใช้กับคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมหรือไม่มีการฝังโลหะไว้อย่างใน แต่มักจะทำให้เกิดผิวคอนกรีตขึ้นและเกิดเชื้อเกลือ (Efflorescence)
สารละลายอินทรีย์	-	• ทำให้น้ำมีสี และทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ช้าลง สารประกอบอินทรีย์หลายชนิดในน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลเสียต่อปฏิกิริยาไฮเดรชัน หรือก่อให้เกิดฟองอากาศในปริมาณสูง ตามปกติจึงต้องระมัดระวังการใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม ยกเว้นกรณีที่มีน้ำได้ผ่านโรงบำบัดน้ำเสียซึ่งสามารถลดปริมาณสารละลายอินทรีย์ลงได้ในระดับที่ปลอดภัย • วิธีสังเกตอย่างง่ายว่าน้ำนั้นสามารถใช้ผสมคอนกรีตได้หรือไม่ มีดังนี้ ความสะอาด น้ำต้องไม่มีสารเน่าเปื่อย, ปรากฏ, หรือตะไคร่น้ำ สี น้ำต้องใส ถ้ามีสี แสดงว่ามีสารแขวนลอยต่างๆ มาก กลิ่น น้ำต้องไม่มีกลิ่นเน่า ถ้ามีกลิ่นก็มักจะมีสารละลายอินทรีย์ปะปนอยู่มาก รส น้ำต้องไม่มีรส ถ้ามีรสกร่อยหรือเค็ม แสดงว่ามีเกลือแร่อยู่มาก ถ้ามีรสเปรี้ยว แสดงว่าเป็นกรด ถ้าฟาด แสดงว่าเป็นด่าง แต่โดยทั่วไป ความเป็นกรดหรือด่างของน้ำมักไม่มากจนสามารถชิมรสแล้วรู้
น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	4,000	• มักทำให้กำลังลดลง
น้ำโสโครกจากท่อระบายน้ำ	400	• มักทำให้กำลังลดลง
น้ำตาล	100	• ถ้ามีปริมาณน้ำตาลน้อยในช่วง 300-1,500 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร จะทำให้การก่อตัวช้าลง • ถ้ามีมากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไป อาจเป็นตัวเร่งให้คอนกรีตก่อตัวเร็วขึ้น
สาหร่าย หรือพืชขนาดเล็กๆ	1,000	• เกิดจากพืชที่พบในบ่อหรือในบริเวณที่ลุ่มกักน้ำ จะพบว่าน้ำมีสีเขียวอ่อน • ทำให้คอนกรีตมีช่องว่างอากาศมาก และมีกำลังลดลง
น้ำมัน	2.0% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	• ทำให้การก่อตัวช้าลง • ทำให้กำลังลดลง • กรณีน้ำมันจากพืชหรือสัตว์จะส่งผลกระทบต่อปริมาณน้อยกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมันแร่ (Mineral Oil)

ตารางที่ 10-2 (ต่อ) ข้อกำหนดความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้และผลกระทบของสิ่งเจือปนในน้ำผสมคอนกรีต

10.6 การทดสอบคุณภาพของน้ำผสมคอนกรีต

การทดสอบคุณภาพของน้ำผสมคอนกรีตนี้ ทำได้โดยการทดสอบเปรียบเทียบเวลาการก่อตัวและกำลังอัดระหว่างที่ใช้น้ำตัวอย่างกับที่ใช้น้ำควบคุม กรณีทดสอบตัวอย่างมอร์ตาร์ให้ใช้น้ำกลั่นเป็นน้ำควบคุม และกรณีทดสอบตัวอย่างคอนกรีตอาจเลือกใช้น้ำประปาเป็นน้ำควบคุม

น้ำที่เหมาะสมสำหรับผสมทำคอนกรีต ควรมีคุณสมบัติดังนี้

ข้อกำหนดคุณภาพของน้ำผสมคอนกรีตจากผลการทดสอบตัวอย่างมอร์ตาร์

1. ค่าเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) ของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้น้ำที่นำมาทดสอบต้องแตกต่างจากตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้น้ำควบคุมไม่เกิน 30 นาที [มอก. 15 เล่ม 9]
2. ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้น้ำที่นำมาทดสอบต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 90% ของกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้น้ำควบคุม [มอก. 15 เล่ม 12]

ข้อกำหนดคุณภาพของน้ำผสมคอนกรีตจากผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต

[E.I.T.Standard 1014]

1. ค่าเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) ของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำที่นำมาทดสอบต้องไม่เร็วเกินกว่า 60 นาที หรือไม่ช้าเกินกว่า 90 นาที เมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำควบคุม
2. ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำที่นำมาทดสอบต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 90% ของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำควบคุม

ถ้าผลการทดสอบที่ได้ออกนอกค่าที่กำหนด แสดงว่าน้ำนั้นมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีต อาจแก้ไขโดยการเปลี่ยนแหล่งน้ำที่จะนำมาผสมคอนกรีต หรือถ้าผลการทดสอบแสดงว่าค่ากำลังอัดของตัวอย่างไม่ต่ำกว่า 80% ของค่ากำลังอัดเฉลี่ยของตัวอย่างที่ใช้น้ำควบคุม อาจใช้น้ำนี้แต่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมคอนกรีต



รูปที่ 10-5 การทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์

10.7 คุณภาพของน้ำล้างมวลรวม

น้ำล้างมวลรวม ควรมีคุณสมบัติเหมือนน้ำผสมคอนกรีต เพราะน้ำนี้จะเคลือบอยู่บนผิวของมวลรวมและสามารถเข้าไปทำอันตรายต่อคอนกรีตเหมือนกับน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตได้ ข้อที่ควรระวัง คือ ต้องคอยเปลี่ยนน้ำที่ใช้ล้างมวลรวมอย่างสม่ำเสมอ เพราะเมื่อล้างไปช่วงเวลาหนึ่ง น้ำจะขุ่น การใช้ต่อไปจะไม่เกิดผลดีอย่างไร กลับอาจทำให้เกิดความสกปรกเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 10-6 ตัวอย่างการล้างมวลรวมให้สะอาดด้วยน้ำประปาในห้องปฏิบัติการ



10.8 คุณภาพของน้ำบ่มคอนกรีต



รูปที่ 10-7 การบ่มคอนกรีตด้วยวิธี
การขังน้ำ ในโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป

น้ำที่ใช้บ่มคอนกรีตนั้นไม่จำเป็นต้องมีคุณภาพสูงทัดเทียมกับน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต แต่อย่างไรก็ตาม ไม่ควรมีสิ่งเจือปนในน้ำบ่มคอนกรีตในปริมาณมากพอที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต เช่น สารพวกซัลเฟต, สารที่ทำให้เกิดคราบสกปรก, น้ำมัน, กรด, และเกลือ เป็นต้น ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้ผิวคอนกรีตเกิดรอยเปื้อน, หรือถูกกัดกร่อน, หรือเป็นตัวการทำให้ลิ้นจับกับผิวคอนกรีตได้ไม่ดี และหลุดล่อนในภายหลังได้

มาตรฐานอ้างอิง

- มอก. 15 เล่ม 9-2518 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 9 การหาระยะเวลาก่อตัวของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกโดยใช้เข็มแบบไวแคต
- มอก. 15 เล่ม 12-2532 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 12 วิธีทดสอบความต้านแรงอัดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก
- E.I.T.Standard 1014-46 : ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต, คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- ASTM C 94 : 2004 : Standard Specification for Ready-Mixed Concrete
- BS EN 1008 : 2002 : Mixing water for concrete---Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete

เอกสารอ้างอิง

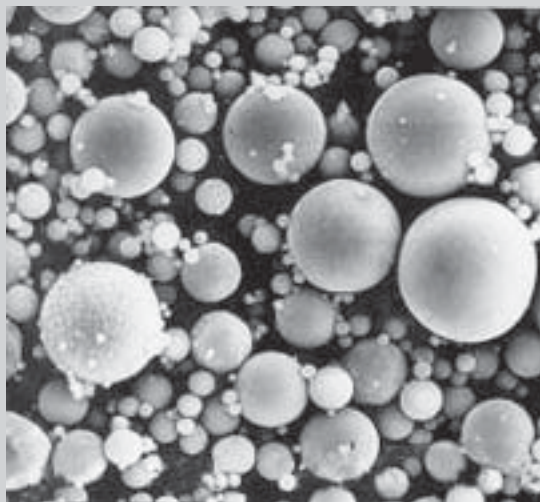
- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุต, "คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)", คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, "10 ขั้นตอนในการทำคอนกรีตที่ดี ตอนที่ 1", 2546.
- 3 พิภพ สุนทรสมัย, "วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.
- 4 วิทยาลัยเทคนิคจันทบุรี, "เทคนิคการทำคอนกรีตกำลังสูง", โครงการแข่งขันทำคอนกรีตกำลังอัดสูง "คอนกรีตพลังช้าง" การอาชีวศึกษา ภาคกลาง, 2545.
- 5 A. M. Neville, "Properties of Concrete", Fourth Edition, 1999.

สารผสมเพิ่ม

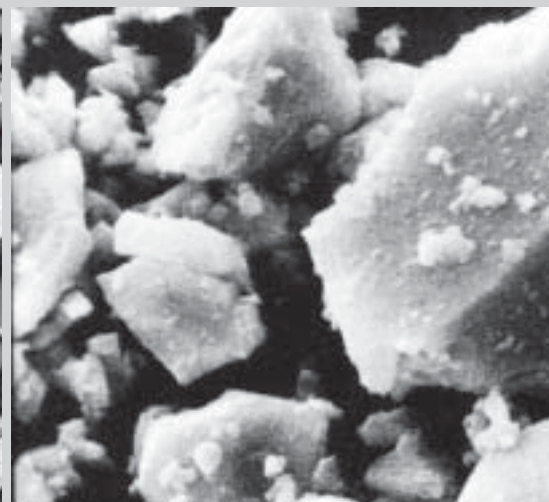
บทที่



ก) สารเคมีผสมเพิ่ม :
สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว



ข) แร่ผสมเพิ่ม ประเภทสารปอซโซลาน : เถ้าลอย



ค) แร่ผสมเพิ่ม ประเภทสารที่มีคุณสมบัติ
เชื่อมประสาน : GGBS

รูปที่ 11-1 สารผสมเพิ่มประเภทต่าง ๆ

บทคัดย่อ

สารผสมเพิ่ม หรือน้ำยาผสมคอนกรีต หมายถึง สารใด ๆ นอกเหนือไปจากปูนซีเมนต์, น้ำ, และมวลรวม อันใช้เติมลงไปในส่วนผสมของคอนกรีตไม่ว่าจะก่อนหรือกำลังผสม เพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพคอนกรีตสดหรือคอนกรีตแข็งตัวแล้วให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ

การจำแนกประเภทของสารผสมเพิ่ม อาจแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภท คือ

1. สารเคมีผสมเพิ่ม เป็นสารเคมีที่ใช้เติมลงในส่วนผสมคอนกรีตก่อนผสมหรือขณะผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีต เช่น ลดปริมาณน้ำในส่วนผสม, เร่งหรือหน่วงการก่อตัวและการแข็งตัว, และปรับปรุงความสามารถในการทำงานของคอนกรีตสด เป็นต้น

2. แร่ผสมเพิ่ม มีลักษณะเป็นผงละเอียด ที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีตเพื่อปรับปรุงความสามารถในการทำงาน เช่น เพิ่มกำลัง, เพิ่มความคงทน, ทำให้คอนกรีตสดมีคุณสมบัติในการยึดเกาะตัวดีขึ้น, และยังสามารถใช้ทดแทนปริมาณปูนซีเมนต์ได้บางส่วน เป็นต้น

3. สารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ ได้แก่ สารผสมเพิ่มอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ในสองประเภทแรก ซึ่งผลิตขึ้นมาเพื่อใช้งานเฉพาะอย่างเท่านั้น ก่อนที่จะใช้สารผสมเพิ่ม ควรมีการศึกษาข้อจำกัดการใช้งาน การตรวจสอบคุณภาพ และการทดสอบประสิทธิภาพ รวมทั้งควรใช้ตามข้อแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด มิฉะนั้นอาจจะก่อให้เกิดผลเสียได้



11.1 บทนำ

สารผสมเพิ่ม หรือน้ำยาผสมคอนกรีต (Concrete Admixtures) หมายถึง สารใด ๆ นอกเหนือไปจากปูนซีเมนต์ น้ำ และมวลรวม อันใช้เติมลงไปในส่วนผสมของคอนกรีต ไม่ว่าจะก่อนหรือกำลังผสม เพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพคอนกรีตสดหรือคอนกรีตแข็งตัวแล้วให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพของวัสดุ สิ่งแวดล้อม และสภาพการทำงาน วัตถุประสงค์โดยทั่วไปของการใช้สารผสมเพิ่ม เช่น ปรับปรุงความสามารถได้แรงหรือหน่วงการก่อตัวและการแข็งตัว, ควบคุมหรือดัดแปลงการพัฒนากำลังอัด ปรับปรุงคุณสมบัติความต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน, การทนต่อการกัดกร่อน, และเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง เป็นต้น สิ่งสำคัญที่พึงระลึกไว้เสมอ คือ สารผสมเพิ่มไม่สามารถช่วยแก้ไขคอนกรีตที่มีส่วนผสมไม่ดี หรือการใช้งานที่ไม่ถูกต้อง

ในปัจจุบันได้มีการขยายการใช้สารผสมเพิ่มไปทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษ กล่าวคือ ใช้ปูนซีเมนต์ทั่ว ๆ ไป ผสมกับสารผสมเพิ่มที่เหมาะสม ซึ่งจะปรับปรุงหรือเปลี่ยนคุณสมบัติของคอนกรีตบางประการได้ สารผสมเพิ่มที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นของเหลว แต่บางชนิดเป็นผงซึ่งแตกต่างกันตามวัสดุพื้นฐาน วัสดุเหล่านี้จะต้องไม่ทำลายคุณภาพของคอนกรีตทั้งในระยะสั้นและระยะยาว รวมทั้งต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารที่เป็นส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ แร่ธาตุในมวลรวม และเหล็กเสริม ดังนั้นก่อนที่จะใช้สารผสมเพิ่ม ควรมีการศึกษาข้อจำกัด การใช้งาน การตรวจสอบคุณภาพ และการทดสอบประสิทธิภาพ รวมทั้งควรใช้ตามคำแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด มิฉะนั้นอาจจะก่อให้เกิดผลเสียได้

11.2 ประเภทของสารผสมเพิ่ม

การจำแนกประเภทของสารผสมเพิ่ม อาจแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภท คือ

1. สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixtures) เป็นสารเคมีที่ใช้เติมลงในส่วนผสมคอนกรีตก่อนผสมหรือขณะผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีต เช่น ลดปริมาณน้ำในส่วนผสม, เร่งหรือหน่วงการก่อตัวและการแข็งตัว, และปรับปรุงความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตสด เป็นต้น สารเคมีผสมคอนกรีตส่วนมากเป็นชนิดเหลวที่มักเรียกกันว่า “น้ำยาผสมคอนกรีต” แต่ก็มีที่เป็นชนิดผงที่สามารถละลายน้ำได้

2. แร่ผสมเพิ่ม (Mineral Admixtures) มีลักษณะเป็นผงละเอียด ที่เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีตเพื่อปรับปรุงความสามารถในการใช้งาน เช่น เพิ่มกำลัง, เพิ่มความคงทน, ทำให้คอนกรีตสดมีคุณสมบัติในการยึดเกาะตัวดีขึ้น, และยังสามารถใช้ทดแทนปริมาณปูนซีเมนต์ได้บางส่วน เป็นต้น

3. สารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ ได้แก่ สารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ในสองประเภทแรก ซึ่งผลิตขึ้นมาเพื่อใช้งานเฉพาะอย่างเท่านั้น

รายละเอียดของการจำแนกประเภทของสารผสมเพิ่มแต่ละชนิดแสดงไว้ในรูปที่ 11-2



รูปที่ 11-2 การจำแนกประเภทของสารผสมเพิ่ม



11.3 การใช้สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มได้เข้ามามีบทบาทอย่างรวดเร็วในวงการก่อสร้าง ประเทศที่เจริญแล้วได้มีการนำสารผสมเพิ่มมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตกันอย่างแพร่หลาย ส่วนในประเทศไทยวงการก่อสร้างเพิ่งตื่นตัวเรื่องการใช้สารผสมเพิ่มอย่างจริงจังในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา และมีแนวโน้มการใช้คอนกรีตที่ผสมสารผสมเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะคอนกรีตที่ใส่สารผสมเพิ่มจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการทำงานมากกว่าคอนกรีตที่ไม่ใส่สารผสมเพิ่มอย่างชัดเจน กล่าวคือ โดยทั่วไปคอนกรีตที่ใส่สารผสมเพิ่มจะมีความสามารถเทได้หรือเหลวอยู่นานกว่าคอนกรีตที่ไม่ใส่สารผสมเพิ่ม ทำให้สะดวกทั้งด้านการลำเลียง การเท และการทำให้คอนกรีตอัดแน่นในแบบ ซึ่งส่งผลดีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลดลงด้วย

ใน ตารางที่ 11-1 แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตที่สามารถปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงได้โดยการใช้สารผสมเพิ่มประเภทต่าง ๆ

คุณสมบัติที่ต้องการ	ประเภทของสารผสมเพิ่ม				
	สารลดน้ำ	สารเร่งการก่อตัว	สารพองการก่อตัว	สารลดน้ำพิเศษ	สารกระจายกักฟองอากาศ
การก่อตัวและการแข็งตัว - เร่งอัตราการพัฒนากำลังอัดช่วงต้น - เร่งการก่อตัว - หน่วงการก่อตัว	○	● ●	●	●	
ความสามารถเกิดและคุณสมบัติของคอนกรีตสดอื่น ๆ - เพิ่มความสามารถเกิดโดยกำลังอัดไม่สูญเสียไป - ลดอุณหภูมิจากปฏิกิริยาไฮดรेशन - ลดการเย็บ - ลดการแยกตัว - เพิ่มความสามารถบ่มได้	● ○		○	● ○ ○	● ● ●
คอนกรีตแข็งตัวแล้ว - เพิ่มกำลังอัดโดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์หรือลดความสามารถเกิด - ปรับปรุงความคงทน - ปรับปรุงความต้านทานการซึมผ่านของน้ำ	● ○ ●			● ● ●	● ○

● พลาแกมตรอง ○ พลาแกมอ้อม

ตารางที่ 11-1 คุณสมบัติของคอนกรีตที่ได้รับการปรับปรุงโดยการใช้สารผสมเพิ่มประเภทต่าง ๆ

11.4 ข้อควรระวังในการใช้งาน

ปัญหาการใช้สารผสมเพิ่มในคอนกรีต โดยมากมีสาเหตุมาจากความไม่เข้าใจว่าสารผสมเพิ่มชนิดนั้น ๆ ส่งผลกระทบต่อคอนกรีตอย่างไรบ้าง

ข้อพึงระมัดระวังที่ผู้ใช้ควรปฏิบัติในการใช้งานสารผสมเพิ่ม ได้แก่

1. สารผสมเพิ่มที่จะนำมาใช้ควรมีคุณสมบัติสอดคล้องตามมาตรฐาน เช่น มาตรฐานสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต รวมทั้งต้องมีข้อมูลเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

- คุณสมบัติทางกายภาพของสารผสมเพิ่ม เช่น ค่า pH, ค่าความถ่วงจำเพาะ เป็นต้น
- ชนิดและสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ และองค์ประกอบที่มีหรืออาจมีผลเสียต่อคอนกรีต เช่น คลอไรด์, ซัลเฟต, ซัลไฟด์, ฟอสเฟต, น้ำตาล, ไนเตรด, และแอมโมเนีย เป็นต้น
- การเตรียมและวิธีการผสมเข้าไปในส่วนผสมคอนกรีต
- ปริมาณที่ใช้, ปริมาณต่ำสุดและสูงสุดที่ใช้ได้, และข้อเสียที่เกิดจากการใช้เกินปริมาณกำหนด
- ผลกระทบของสารผสมเพิ่มที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งในด้านที่เป็นประโยชน์และผลเสีย
- วิธีการเก็บและอายุการใช้งาน
- ผลเสียต่อผู้ใช้ทั้งระยะสั้นและระยะยาว

2. ควรใช้สารผสมเพิ่มในปริมาณที่ผู้ผลิตแนะนำ พร้อมกับตรวจสอบว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ การเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดสอบควรทำในสภาวะของการใช้งาน เพราะผลอันแท้จริงของสารผสมเพิ่มต่อคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ อาทิเช่น ส่วนผสมคอนกรีต, ชนิดของปูนซีเมนต์, คุณสมบัติของมวลรวมและสารไม่บริสุทธิ์ที่เจือปนอยู่, วิธีการผสมและระยะเวลาการผสม, ช่วงเวลาที่ใส่สารผสมเพิ่ม, อุณหภูมิของคอนกรีต, และสภาพการบ่ม เป็นต้น

3. ควรใช้วิธีการวัดปริมาณสารผสมเพิ่มที่แน่นอน เพราะเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการใช้สารผสมเพิ่มประเภทสารเคมีผสมเพิ่มและสารผสมเพิ่มอื่น ๆ อีกหลายชนิด เช่น สารกระจายกักฟองอากาศ ทั้งนี้เพราะช่วงปริมาณการใช้ที่เหมาะสมมักมีปริมาณน้อยมาก ดังนั้นหากมีการผสมเกินปริมาณที่กำหนดอาจก่อให้เกิดผลเสียอย่างมาก

4. ผลของสารผสมเพิ่มต่อคุณสมบัติอื่น ๆ ของคอนกรีต โดยทั่วไปสารผสมเพิ่มมักมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตหลายอย่างพร้อม ๆ กัน

11.5 สารเคมีผสมเพิ่ม

สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixtures) คือ สารเคมีที่ใช้เติมลงในส่วนผสมคอนกรีตก่อนผสมหรือขณะผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีต เช่น ลดปริมาณน้ำในส่วนผสม, เร่งหรือหน่วงการก่อตัวและการแข็งตัว, และปรับปรุงความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตสด เป็นต้น สารเคมีผสมคอนกรีตส่วนมากเป็นชนิดเหลวที่มักเรียกกันว่า “น้ำยาผสมคอนกรีต” แต่ก็มีที่เป็นชนิดผงที่สามารถละลายน้ำได้



รูปที่ 11-3 สารเคมีผสมเพิ่ม หรือน้ำยาผสมคอนกรีต



ประเภท	ชื่อ	นิยาม
A	สารลดน้ำ (Water-Reducing Admixtures หรือ Plasticizers)	สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำที่จะต้องใช้อยู่ในคอนกรีต เพื่อให้ได้ความชื้นเหลวตามที่กำหนด
B	สารหน่วงการก่อตัว (Retarding Admixtures)	สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อหน่วงเวลาการก่อตัว
C	สารเร่งการก่อตัว (Accelerating Admixtures)	สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดเวลาการก่อตัว ทำให้คอนกรีตรับแรงได้เร็วขึ้น
D	สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (Water-Reducing and Retarding Admixtures)	สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำที่จะต้องใช้อยู่ในคอนกรีต และหน่วงเวลาการก่อตัว
E	สารลดน้ำและเร่งการก่อตัว (Water-Reducing and Accelerating Admixtures)	สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำที่จะต้องใช้อยู่ในคอนกรีต และลดเวลาการก่อตัว ทำให้คอนกรีตรับแรงได้เร็วขึ้น
F	สารลดน้ำพิเศษ (High Range Water-Reducing Admixtures หรือ Superplasticizers)	สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำตั้งแต่ 12% ขึ้นไป ที่จะต้องใช้ผสมคอนกรีต เพื่อให้ได้ความชื้นเหลวตามที่กำหนด
G	สารลดน้ำพิเศษและหน่วงการก่อตัว (High Range Water-Reducing and Retarding Admixtures หรือ Superplasticizing and Retarding Admixtures)	สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีตเพื่อลดปริมาณน้ำตั้งแต่ 12% ขึ้นไป ที่จะต้องใช้ผสมคอนกรีต เพื่อให้ได้ความชื้นเหลวตามที่กำหนด และหน่วงเวลาการก่อตัว

ตารางที่ 11-2 ประเภทของสารเคมีผสมคอนกรีต



รูปที่ 11-4 การเก็บรักษาสารเคมีผสมเพิ่มไว้ในถังที่ปิดมิดชิด ในโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ

มาตรฐานสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต [มอก. 733], [ASTM C 494] ได้แบ่งสารเคมีผสมคอนกรีตออกเป็น 7 ประเภท ดังใน ตารางที่ 11-2

การบรรจุสารเคมีผสมเพิ่ม ควรบรรจุในภาชนะที่สะอาด แข็งแรง ปิดได้สนิท และป้องกันความชื้นได้

11.5.1 สารลดน้ำ (Water-Reducing Admixtures หรือ Plasticizers)

สารลดน้ำ หรือที่รู้จักในชื่อ “Plasticizer” หมายถึง สารเคมีผสมคอนกรีตที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำที่จะต้องใช้อยู่ในคอนกรีต โดยได้ความชื้นเหลวตามที่กำหนด และไม่มีผลกระทบต่อปริมาณฟองอากาศและเวลาการก่อตัวของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม อาจมีผลกระทบทำให้คอนกรีตหน่วงหรือเร่งการก่อตัวได้ แต่ต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด

การใช้สารลดน้ำให้เกิดประโยชน์ทำได้ดังนี้

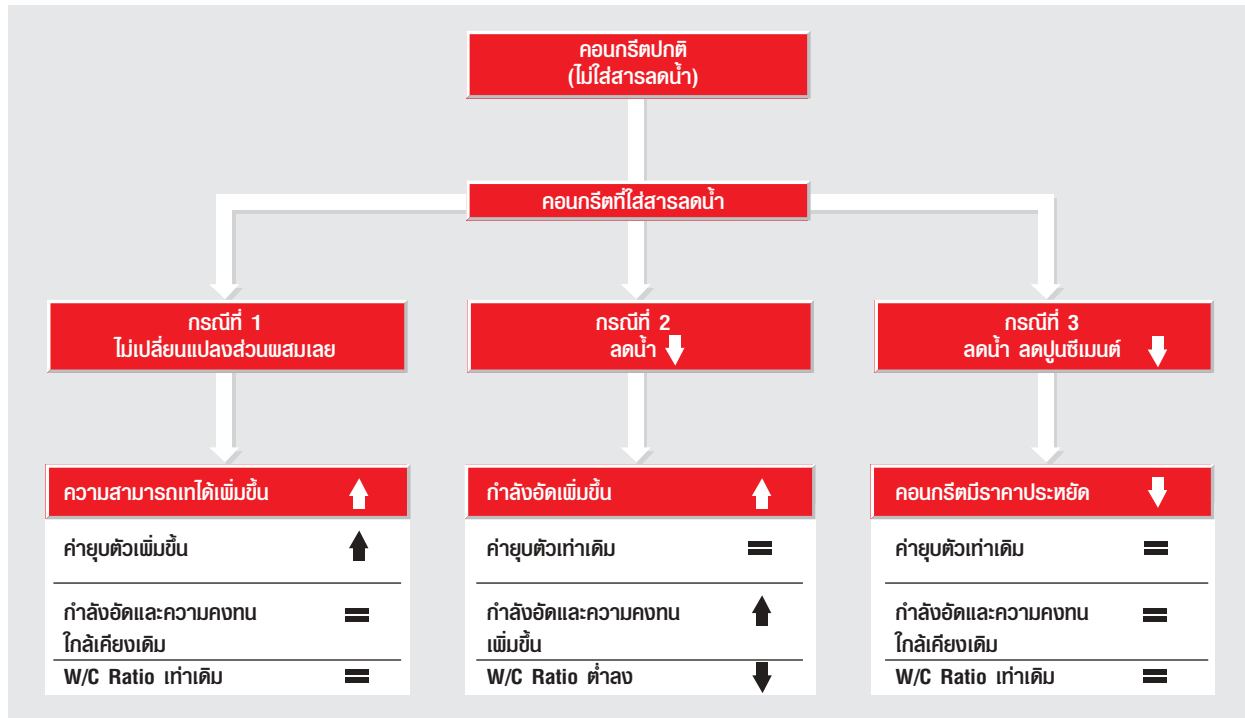
กรณีที่ 1 : ไม่เปลี่ยนแปลงส่วนผสมเลย ทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้เพิ่มขึ้น

ใช้เพื่อช่วยให้งานเทคอนกรีตที่ทำได้ยาก เช่น โครงสร้างที่บางหรือมีเหล็กเสริมค่อนข้างหนาแน่น คอนกรีตนี้จะมีประสิทธิภาพที่ดี ง่ายต่อการจี้เข้าแบบ โดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณน้ำและปูนซีเมนต์

กรณีที่ 2 : ลดน้ำในส่วนผสม ทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้น

คอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ตามที่ต้องการโดยใช้ปริมาณน้ำลดลงในขณะที่ปริมาณปูนซีเมนต์คงที่ นั่นคือ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะลดลง ส่งผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำและความคงทนสูงขึ้น หรืออาจจะประยุกต์ใช้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มกำลังอัดโดยไม่สามารถเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ เพราะจะเกิดปัญหาด้านอุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือเกิดการหดตัวทำให้เกิดการแตกร้าว โดยเฉพาะโครงสร้างคอนกรีตมวล (Mass Concrete) เช่น ฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ เป็นต้น

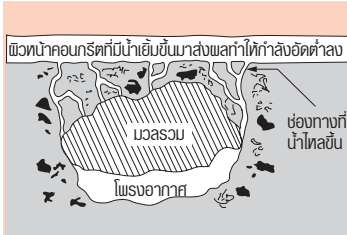
กรณีที่ 3 : ลดน้ำและปูนซีเมนต์ในส่วนผสม ทำให้คอนกรีตมีราคาประหยัด
 คอนกรีตจะมีความสามารถเท่าได้ตามที่ต้องการโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำ
 ต่อปูนซีเมนต์ นั่นคือ เราสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์และน้ำลงได้



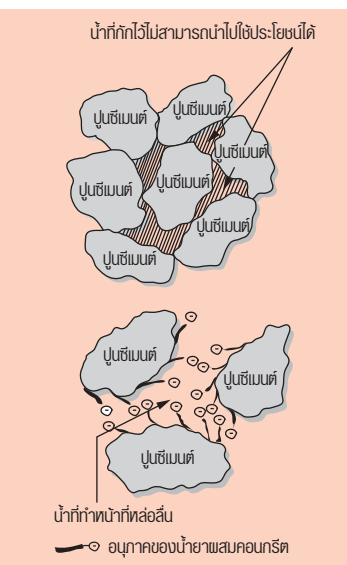
รูปที่ 11-5 ประโยชน์ของการใช้สารลดน้ำ

● วัตถุดิบ

- สารประกอบหลักที่ใช้ในการผลิตสารลดน้ำ แบ่งได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่
1. กรดและเกลือลิกโนซัลโฟเนต (Lignosulphonates) ได้แก่ สารประกอบเกลือแคลเซียม (Ca), โซเดียม (Na) หรือแอมโมเนียม (NH₄) ของกรดลิกโนซัลโฟนิก (Lignosulphonic Acids)
 2. กรดและเกลือลิกโนซัลโฟเนต ที่ได้จากการดัดแปลงและพันธะที่เกี่ยวข้อง
 3. กรดไฮดรอกซีคาร์บอกซิลิก (Hydroxycarboxylic Acids) และเกลือของมัน ได้แก่ สารประกอบเกลือโซเดียม (Na), แอมโมเนียม (NH₄) หรือไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine) ของกรดไฮดรอกซีคาร์บอกซิลิก (Hydroxycarboxylic Acids)
 4. กรดไฮดรอกซีคาร์บอกซิลิก (Hydroxycarboxylic Acids) และเกลือของมันที่ได้จากการดัดแปลงและพันธะที่เกี่ยวข้อง
 5. องค์ประกอบอื่น ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates) (เช่น Hydroxylated Polymers), สารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ (เช่น Acrylate and Methacrylate Polymers), และวัสดุหลายองค์ประกอบ (เช่น พันธะเมลามีน (Melamine Derivatives), และพันธะแนพทาลีน (Naphthalene Derivatives)) เป็นต้น



รูปที่ 11-6 แสดงลักษณะคอนกรีตที่ใช้น้ำมากเกินไป น้ำส่วนหนึ่งจะอยู่ในลักษณะเป็นแอ่งใต้หินและบางส่วนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวหน้าคอนกรีต หรือเกิดการเยิ้ม (Bleeding) ขึ้น เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแอ่งน้ำดังกล่าวจะกลายเป็นโพรงอากาศ ทำให้คอนกรีตมีกำลังและความคงทนลดลง



รูปที่ 11-7 ลักษณะการทำงานของสารลดน้ำ

● ทำไมต้องลดปริมาณน้ำ

การลดปริมาณน้ำในส่วนผสมเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับงานคอนกรีต จากการจำแนกประเภทของสารเคมีผสมคอนกรีตทั้ง 7 ประเภทข้างต้น จะพบว่ามีประเภทที่มีคุณสมบัติลดปริมาณน้ำในส่วนผสมได้มากถึง 5 ประเภท

ก่อนที่จะอธิบายในรายละเอียด เราควรมาพิจารณาถึงหน้าที่ของน้ำในส่วนผสมคอนกรีตอีกทีเพื่อความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

น้ำเป็นองค์ประกอบของคอนกรีตที่สำคัญ โดยทำหน้าที่หลัก 3 ประการ ได้แก่

1. ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปูนซีเมนต์
2. ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้
3. เคลือบมวลรวมไม่ให้เปียก เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์สามารถเข้าเกาะได้โดยรอบ

ปริมาณน้ำผสมคอนกรีตที่พอดีที่จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน คือประมาณ $28 \pm 1\%$ ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ หรืออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) = 0.28 ± 0.01 แต่คอนกรีตทั่วไปมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์มากกว่า 0.35 น้ำที่เกินนี้จะเข้าไปทำหน้าที่ในข้อ 2 และข้อ 3 ข้างต้น ทำให้คอนกรีตเหลวทำงานได้สะดวกขึ้น น้ำส่วนนี้จะเรียกว่า “น้ำส่วนเกิน (Excess Water)”

น้ำส่วนเกิน ถ้ามีมากเกินไปจะมีผลเสียต่อคอนกรีต คือ

1. เกิดการเยิ้มของน้ำขึ้นมาที่ผิวหน้ามาก
2. เกิดการแยกตัว
3. เกิดการหดตัว
4. กำลังของคอนกรีตลดลง
5. ทำให้เกิดรูพรุน มีผลทำให้คอนกรีตขาดความคงทน

● ลักษณะการทำงาน

สารลดน้ำมีคุณสมบัติช่วยลดความต้องการน้ำของคอนกรีต ทั้งนี้เพราะมีคุณสมบัติในการช่วยเปลี่ยนคุณสมบัติของผิวสัมผัสระหว่างของแข็งและน้ำในคอนกรีต ปกติอนุภาคของปูนซีเมนต์ในคอนกรีตจะมีประจุไฟฟ้าเหลือตกค้างบนผิวโดยอาจเป็นขั้วบวกหรือขั้วลบก็ได้ อนุภาคซึ่งมีประจุต่างกันจะดึงดูดกันเป็นกลุ่ม (Flocculate) ซึ่งสามารถดูดน้ำได้ปริมาณมาก ทำให้เหลือน้ำหล่อลื่นคอนกรีตเหลวอยู่น้อย โมเลกุลของสารผสมเพิ่มชนิดนี้ช่วยทำให้ประจุเป็นกลาง หรือทำให้ประจุบนผิวอนุภาคต่าง ๆ กลายเป็นประจุชนิดเดียวกัน จึงเกิดแรงผลักดันซึ่งกันและกัน ทำให้อนุภาคปูนซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์แยกตัวจากกัน น้ำที่ผสมไปในคอนกรีตส่วนใหญ่จึงทำหน้าที่ช่วยลดความหนืดของซีเมนต์เพสต์ มีผลทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้สูงขึ้น ดังแสดงใน รูปที่ 11-7

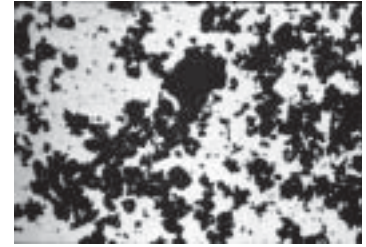
● ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงาน

ปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่

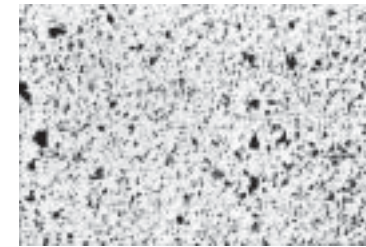
1. ชนิดและปริมาณการใช้สารลดน้ำ เช่น องค์ประกอบทางเคมี, ความเข้มข้น เป็นต้น

2. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีตชนิดอื่น ๆ
 - 2.1 ชนิดและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ เช่น ปริมาณ C_3A , และ SO_3 เป็นต้น
 - 2.2 ชนิดและคุณสมบัติของมวลรวม เช่น ขนาดคละ, และรูปร่าง เป็นต้น
 - 2.3 ชนิดและคุณสมบัติของสารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในส่วนผสม เช่น สารปอซโซลาน ซึ่งมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน อาทิ ซิลิกาฟูม มีความต้องการอัตราการใช้ที่มากกว่า เนื่องจากมีการดูดซับน้ำที่มากกว่า
3. ส่วนผสมคอนกรีต เช่น ปริมาณปูนซีเมนต์, และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เป็นต้น
4. วิธีการใส่สารลดน้ำในการผสมคอนกรีต
5. อุณหภูมิ

ถ้าใช้สารลดน้ำในปริมาณปกติ โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่ลดลงจะอยู่ในช่วง 8 - 12% อย่างไรก็ตามควรทดสอบในห้องปฏิบัติการก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง เพื่อหาชนิดและปริมาณของสารลดน้ำที่จะทำให้บรรลุคุณสมบัติที่เหมาะสม



ก) อนุภาคของปูนซีเมนต์จะจับตัวอยู่เป็นกลุ่มก่อนการใส่สารลดน้ำ



ข) การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของอนุภาคปูนซีเมนต์หลังการใส่สารลดน้ำ

● ผลต่อคอนกรีตสด

1. สารลดน้ำนี้จะเพิ่มความสามารถเทได้ ถ้าไม่มีการปรับส่วนผสมอื่น ๆ โดยปกติจะทำให้คอนกรีตมีค่ายุบตัวเพิ่มขึ้น 2.5 - 7.5 เซนติเมตร
2. สารลดน้ำที่มีสารประกอบของกรดไฮดรอกซีคาร์บอซิลิก จะสามารถลดปริมาณน้ำได้มากกว่าสารประกอบของลิกโนซัลโฟเนต
3. ค่าอัตราการสูญเสียค่ายุบตัว (Slump Loss) ในช่วงแรกของคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำจะมากกว่าคอนกรีตทั่วไป
4. สารลดน้ำที่ผลิตจากเกลือของกรดไฮดรอกซีคาร์บอซิลิก มีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดการเยิ้ม (Bleeding) ดังนั้นควรใช้ด้วยความระมัดระวังโดยเฉพาะกับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวมาก
5. สารลดน้ำที่ผลิตจากสารประกอบของลิกโนซัลโฟเนต จะลดการเยิ้มเนื่องจากสารประกอบพวกนี้จะก่อให้เกิดฟองอากาศขึ้นเล็กน้อยคืออยู่ในช่วง 1 - 3%
6. โดยทั่วไปสารลดน้ำจะหน่วงการก่อตัวของคอนกรีตเล็กน้อย
7. ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมคอนกรีต สารลดน้ำจะไม่มีผลต่อความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

● ผลต่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

1. ถ้าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากัน คอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำจะให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตทั่วไปเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายตัวที่ดีของอนุภาคปูนซีเมนต์ในส่วนผสม
2. สารลดน้ำช่วยลดปริมาณน้ำในส่วนผสมได้ ส่งผลทำให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ลดลง คอนกรีตมีเนื้อแน่นขึ้น กำลังอัดของคอนกรีตจึงเพิ่มขึ้นทั้งที่อายุช่วงต้นและที่อายุ 28 วัน และยังช่วยให้มีความคงทนและความต้านทานการซึมผ่านของน้ำสูงขึ้นด้วย

รูปที่ 11-8 การกระจายตัวของอนุภาคปูนซีเมนต์ก่อนและหลังการใส่สารลดน้ำ



3. เมื่อความสามารถได้และกำลังอัดที่ 28 วันเท่ากัน การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) และการคืบ (Creep) จะไม่เปลี่ยนแปลง

11.5.2 สารหน่วงการก่อตัว (Retarding Admixtures)

สารหน่วงการก่อตัว เป็นสารเคมีผสมเพิ่มประเภทที่หน่วงอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งส่งผลหน่วงการก่อตัวของคอนกรีตด้วย สารผสมเพิ่มชนิดนี้โดยทั่วไปจะใช้กับงานคอนกรีตในเขตร้อน เช่น ในประเทศไทย เป็นต้น เพราะที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดเร็วมาก คอนกรีตจึงก่อตัวเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังเหมาะกับการใช้งานคอนกรีตประเภทอื่น ๆ อีก เช่น



รูปที่ 11-9 งานเทคอนกรีตกำแพงพืด (Diaphragm Wall) จำเป็นต้องใช้สารผสมเพิ่มประเภทที่มีคุณสมบัติหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต เพื่อให้มีระยะเวลาทำงานเพียงพอ

1. งานโครงสร้างขนาดใหญ่ โดยการช่วยหน่วงการก่อตัวเพื่อป้องกันการเกิด Cold Joint
2. งานเขื่อน โดยการช่วยลดความร้อนในคอนกรีตเพื่อป้องกันการแตกร้าว
3. งานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ ซึ่งบางครั้งต้องยืดเวลาการแข็งตัวของคอนกรีตออกไป 6 - 8 ชั่วโมง

● วัตถุประสงค์

สารหน่วงการก่อตัว แบ่งได้เป็น 4 ประเภท ตามองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

1. กรดและเกลือลิกโนซัลโฟเนต (Lignosulphonates)
2. กรดไฮดรอกซีคาร์บอกซีลิก (Hydroxycarboxylic Acids) และเกลือของมัน
3. น้ำตาลและสารประกอบของน้ำตาล
4. เกลืออินทรีย์

สารเคมีหลาย ๆ ตัวจะเหมือนกับของสารลดน้ำแต่จะใช้ในปริมาณที่มากกว่า

● ลักษณะการทำงาน

มีหลายทฤษฎีที่พยายามอธิบายการทำงานของสารผสมเพิ่มชนิดนี้แต่ทฤษฎีที่สำคัญที่สามารถอธิบายเรื่องนี้ได้ดีคือสารหน่วงการก่อตัวนี้จะถูกดูดซับไว้บนผิวของอนุภาคปูนซีเมนต์ ส่งผลทำให้อัตราการซึมผ่านของน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับอนุภาคปูนซีเมนต์ลดลง จึงช่วยให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของคอนกรีตได้นั่นเอง



รูปที่ 11-10 ผลของการใส่สารหน่วงการก่อตัวในคอนกรีตเกินปริมาณที่กำหนด ทำให้คอนกรีตมีเนื้อนุ่มและไม่แข็งตัว

● ปัจจัยที่มีผลกระทบต่องาน

ปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่

1. ชนิดและปริมาณการใช้สารหน่วงการก่อตัว
2. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีตชนิดอื่น ๆ
 - 2.1 ชนิดและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์
 - 2.2 ชนิดและคุณสมบัติของสารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในส่วนผสม เช่น สารปอชโซลาน ซึ่งมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน
3. ส่วนผสมคอนกรีต

4. วิธีการใส่สารหน่วงการก่อตัวในการผสมคอนกรีต

5. อุณหภูมิ

สารหน่วงการก่อตัวจะยืดเวลาการก่อตัวของคอนกรีตทั้งเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) และเวลาการก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time) โดยจะยืดเวลาการก่อตัวของคอนกรีตที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยได้นานกว่าคอนกรีตที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์มาก

การเติมสารประเภทนี้ 2 - 3 นาติ หลังจากการใส่น้ำในการผสมคอนกรีต ความสามารถในการยืดเวลาการก่อตัวของสารผสมเพิ่มขึ้นดีขึ้น และจะให้ผลเต็มที่เมื่อเติม 10 นาติ หลังผสม ถ้าเติมหลัง 2 - 4 ชั่วโมง สารผสมเพิ่มขึ้นจะไม่ก่อให้เกิดผลด้านการยืดเวลาการก่อตัว และปริมาณการใช้สารชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

● ผลต่อคอนกรีตสด

1. ผลโดยตรงคือ การเติมสารหน่วงการก่อตัว ทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ นาน รวมทั้งมีการสูญเสียค่ายุบตัวน้อยลง
2. ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงอายุเริ่มต้นจะลดลง แต่ปริมาณความร้อนทั้งหมดยังคงเดิม
3. การเยิ้มของคอนกรีต น้ำยาประเภทกลูโคเนต จะเพิ่มการเยิ้ม, น้ำยาประเภท กลูโคส จะลดการเยิ้ม, และน้ำยาประเภทลิกโนซัลเฟต จะไม่มีผลกระทบต่อ การเยิ้ม
4. สารหน่วงการก่อตัวมีแนวโน้มจะเพิ่มการหดตัว (Plastic Shrinkage) เพราะว่าคอนกรีตจะเหลวอยู่นานกว่าปกติดังนั้นคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวจึง จำเป็นที่จะต้องบ่มอย่างถูกต้องและเพียงพอเพื่อป้องกันการแตกร้าว (Plastic Shrinkage Crack) ซึ่งจะเกิดขึ้นถ้าปล่อยให้คอนกรีตแห้งก่อนที่คอนกรีตจะมี กำลังเพียงพอ

● ผลต่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

1. กำลังอัดของคอนกรีตในช่วงต้นลดลง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการยืดเวลาการก่อ ตัว แต่เมื่อคอนกรีตมีอายุ 2 - 3 วัน กำลังอัดจะใกล้เคียงกับคอนกรีตทั่ว ๆ ไป
2. อัตราการเกิดการหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) และการคืบ (Creep) จะเพิ่มขึ้น แต่ค่ารวมจะไม่เปลี่ยนแปลง

11.5.3 สารเร่งการก่อตัว (Accelerating Admixtures)

สารเร่งการก่อตัว เป็นสารที่เร่งปฏิกิริยาไฮเดรชัน ส่งผลเร่งการก่อตัว และการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตในช่วงต้น

โดยทั่วไปจะใช้สำหรับงานดังต่อไปนี้

1. งานก่อสร้างเร่งด่วน เช่น งานที่ต้องการถอดแบบหล่อเร็ว, และงานซ่อมแซมต่าง ๆ
2. งานหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตในโรงงาน เพื่อให้การหมุนเวียนแบบหล่อทำได้ อย่างรวดเร็ว



3. งานคอนกรีตในฤดูหนาว สำหรับในประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นจัด

สารผสมเพิ่มชนิดนี้จะแตกต่างจากสารที่ทำให้เกิดการก่อตัวอย่างกะทันหัน (Set Accelerating Admixtures) ซึ่งจะก่อตัวภายใน 2 - 3 นาที และเหมาะกับการใช้งาน Shotcrete สำหรับการอุดรูรั่วภายใต้ความดันของน้ำ หรือการซ่อมแซมอย่างกะทันหัน

● วัตถุดิบ

สารเร่งการก่อตัวส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารเคมีดังนี้

1. แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride)
2. แคลเซียมฟอร์มเมต (Calcium Formate)
3. แคลเซียมไนเตรต (Calcium Nitrate)
4. สารอื่น ๆ เช่น แคลเซียมไนไตรต์ (Calcium Nitrite), และไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine หรือ TEA) เป็นต้น

ในอดีต แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารเคมีที่ถูกนำมาใช้เร่งการก่อตัวของคอนกรีตอย่างกว้างขวางด้วยเหตุผลที่สำคัญ 2 ประการ คือ ราคาไม่แพง และหาได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันได้พบว่าแคลเซียมคลอไรด์จะก่อให้เกิดการกัดกร่อนเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้นจึงหันมาสนใจสารเคมีอื่นที่ไม่มีเกลือคลอไรด์ (Chloride-Free) เช่น แคลเซียมฟอร์มเมต, แคลเซียมไนเตรต, แคลเซียมไนไตรต์, และไตรเอทานอลามีน เป็นต้น

● ลักษณะการทำงาน

สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีตทำหน้าที่เสมือนตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalyst) ระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ผลก็คือ จะเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันก่อให้เกิดความร้อนขึ้น และกำลังอัดจะเพิ่มขึ้นในเวลาอันรวดเร็ว

● ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงาน

ปัจจัยที่สำคัญได้แก่

1. ชนิดและปริมาณการใช้สารเร่งการก่อตัว
2. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีตชนิดอื่น ๆ
 - 2.1 ชนิดและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์
 - 2.2 ชนิดและคุณสมบัติของสารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในส่วนผสม เช่น สารปอซโซลาน ซึ่งมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน
3. ส่วนผสมคอนกรีต
4. วิธีการใส่สารเร่งการก่อตัวในการผสมคอนกรีต
5. อุณหภูมิ

แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันที่มีประสิทธิภาพดีกว่า แคลเซียมฟอร์มเมต และ แคลเซียมไนเตรต อีกทั้งยังมีราคาถูกกว่ามากด้วย และการเร่งปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารผสมนี้ในปริมาณที่มากขึ้น แต่อัตราการเพิ่มขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์และส่วนผสมคอนกรีต โดยส่วนใหญ่จะมีผลต่อส่วนผสมที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำมากกว่า

● ผลต่อคอนกรีตสด

ทำให้คอนกรีตสูญเสียค่ายุบตัวเร็วขึ้น เวลาการก่อตัวเริ่มต้นและเวลาการก่อตัวสุดท้ายเร็วขึ้น การเยิ้มลดลง โดยมีข้อกำหนดควบคุมไว้ไม่ให้เกิดเร็วมากจนไม่สามารถนำคอนกรีตนั้น ๆ ไปใช้งานได้

● ผลต่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

1. แม้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรก แต่จะเท่ากันในระยะหลัง
2. แคลเซียมคลอไรด์จะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดในช่วงต้นเพิ่มขึ้นอย่างมากแต่กำลังอัดในระยะยาว (Long Term Strength) ที่อายุมากกว่า 28 วัน จะต่ำกว่าคอนกรีตทั่ว ๆ ไป ซึ่งแตกต่างกับแคลเซียมฟอสเฟตที่ทำให้กำลังอัดที่ 28 วัน เพิ่มขึ้น
3. แคลเซียมคลอไรด์จะทำให้คอนกรีตมีการหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) และการคืบ (Creep) เพิ่มขึ้น
4. แคลเซียมคลอไรด์ที่ใส่ไปเร่งการก่อตัวถ้าใส่มากเกินไปจะมีผลทำให้ความสามารถทนทานต่อซัลเฟตของคอนกรีตลดลง รวมทั้งยังกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction หรือ AAR) สำหรับในกรณีที่มีมวลรวมมีแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยากับต่างในปูนซีเมนต์
5. คอนกรีตจะมีความสามารถทนทานต่อการกัดเซาะ (Erosion) และการขัดสี (Abrasion) ทุกช่วงอายุมากกว่าคอนกรีตทั่ว ๆ ไป
6. แคลเซียมคลอไรด์จะเร่งการสึกกร่อนของเหล็กเสริมที่ฝังในคอนกรีต เนื่องจากคลอไรด์ไอออนแพร่อยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ด้วยเหตุนี้ข้อกำหนดงานก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรงในปัจจุบัน จึงมักมีข้อห้ามการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในสารผสมเพิ่มหรือในคอนกรีต ส่วนแคลเซียมไนไตรต์จะช่วยป้องกันเหล็กเสริมจากการเป็นสนิมได้

11.5.4 สารเคมีผสมคอนกรีตประเภทอื่น ๆ

1. สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (Water-Reducing and Retarding Admixtures)

เป็นสารผสมเพิ่มที่ใช้มากที่สุดสำหรับงานคอนกรีตในประเทศไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานคอนกรีตผสมเสร็จ

2. สารลดน้ำพิเศษ (High Range Water-Reducing Admixtures หรือ Superplasticizers)

มักเรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า “Superplasticizer” สารประเภทนี้สามารถลดปริมาณน้ำในส่วนผสมได้ 15 - 30% หรือมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากประจุไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดการผลักดันมีแรงผลักดันมากกว่าสารลดน้ำทั่ว ๆ ไป มีคุณสมบัติช่วยให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้สูงขึ้นอย่างมาก ในปัจจุบันสารประเภทนี้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป



เพราะการลดน้ำในปริมาณมาก ๆ ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำปูนซีเมนต์ต่ำ ส่งผลทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดในช่วงต้นที่สูงมาก ทำให้สามารถตัดลวดอัดแรงและถอดแบบได้ในเวลารวดเร็ว รวมทั้งยังสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมได้ ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

สารประเภทนี้โดยทั่วไปนิยมใช้กันอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ Sulphonated Melamine Formaldehyde (SMF), และ Sulphonated Naphthalene Formaldehyde (SNF), นอกจากนี้ยังมีชนิดอื่น ๆ อีก เช่น Polycarboxylate, และ Modified Lignosulphonates เป็นต้น

3. สารลดน้ำพิเศษและหน่วงการก่อตัว (High Range Water-Reducing and Retarding Admixtures หรือ Superplasticizing and Retarding Admixtures)

เหมาะสำหรับงานคอนกรีตผสมเสร็จที่ต้องการคอนกรีตที่เหลวมาก ๆ เช่น คอนกรีตงานฐานรากแผ่ขนาดใหญ่, และชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น เป็นต้น โดยคอนกรีตที่ใส่สารประเภทนี้จะมีค่ายุบตัวมากกว่า 15 เซนติเมตร ทำให้สามารถสั่นไหลเข้าไป

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด						
	ประเภท A	ประเภท B	ประเภท C	ประเภท D	ประเภท E	ประเภท F	ประเภท G
	สารลดน้ำ	สารหน่วงการก่อตัว	สารเร่งการก่อตัว	สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว	สารลดน้ำและเร่งการก่อตัว	สารลดน้ำพิเศษ	สารลดน้ำพิเศษและหน่วงการก่อตัว
น้ำ ร้อยละของปริมาณน้ำที่ผสมคอนกรีตควบคุม ⁽¹⁾ ไม่เกิน	95	-	-	95	95	88	88
ระยะเวลาการก่อตัว เกี่ยวกับคอนกรีตควบคุม (ชั่วโมง : นาที)							
• การก่อตัวระยะต้นอย่างน้อยแต่ไม่เกิน	- เร็วขึ้น 1:00 หรือ ช้าลง 1:30	ช้าลง 1:00 ช้าลง 3:30	เร็วขึ้น 1:00 เร็วขึ้น 3:30	ช้าลง 1:00 ช้าลง 3:30	เร็วขึ้น 1:00 เร็วขึ้น 3:30	- เร็วขึ้น 1:00 หรือ ช้าลง 1:30	ช้าลง 1:00 ช้าลง 3:30
• การก่อตัวระยะปลายอย่างน้อยแต่ไม่เกิน	- เร็วขึ้น 1:00 หรือ ช้าลง 1:30	- ช้าลง 3:30	เร็วขึ้น 1:00 -	- ช้าลง 3:30	เร็วขึ้น 1:00 -	- เร็วขึ้น 1:00 หรือ ช้าลง 1:30	- ช้าลง 3:30
ความต้านแรงอัด ร้อยละของคอนกรีตควบคุม ไม่น้อยกว่า							
• เมื่ออายุ 1 วัน	-	-	-	-	-	140	125
3 วัน	110	90	125	110	125	125	125
7 วัน	110	90	100	110	110	115	115
28 วัน	110	90	100	110	110	110	110
ความต้านแรงคด ร้อยละของคอนกรีตควบคุม ไม่น้อยกว่า							
• เมื่ออายุ 3 วัน	100	90	110	100	110	110	110
7 วัน	100	90	100	100	100	100	100
28 วัน	100	90	90	100	100	100	100

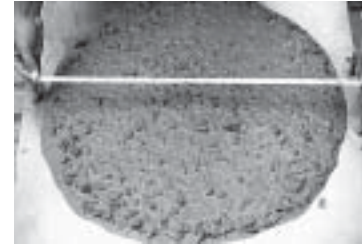
ตารางที่ 11-3 สรุปคุณลักษณะของสารเคมีผสมคอนกรีตประเภทต่าง ๆ ตามข้อกำหนดมาตรฐาน

(1) คอนกรีตควบคุม หมายถึง คอนกรีตที่ไม่ใส่สารผสมเพิ่ม

ในทุกซอกทุกมุมของเหล็กเสริมและแบบหล่อโดยไม่ต้องทำการจี้เซย่าคอนกรีตมากนัก คอนกรีตประเภทนี้มีชื่อเรียกทั่ว ๆ ไปว่า “Flowing Concrete”

นอกจากนี้ในปัจจุบัน ได้มีการนำสารประเภทนี้ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับแร่ผสมเพิ่มในการทำคอนกรีตสำหรับงานชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่นมากจนไม่สามารถจี้เซย่าได้ หรืองานซ่อมแซมโครงสร้างที่ไม่สามารถหาตัววิธีการปกติได้และไม่สามารถจี้เซย่าได้ โดยรู้จักกันในชื่อ “คอนกรีตไหลเข้าแบบง่าย (Self Compacting Concrete)”

คุณลักษณะของสารเคมีผสมคอนกรีต ควรเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานดังแสดงใน ตารางที่ 11-3



รูปที่ 11-11 สารลดน้ำพิเศษและหน่วงการก่อตัว เป็นสารผสมเพิ่มสำคัญสำหรับการทำคอนกรีตไหลเข้าแบบง่าย ทำให้ได้คอนกรีตที่สามารถลื่นไหลเข้าไปในแบบหล่อโดยไม่ต้องทำการจี้เซย่า

11.6 แร่ผสมเพิ่ม

แร่ผสมเพิ่ม (Mineral Admixtures) มักจะเป็นผงละเอียด ซึ่งใส่รวมในคอนกรีตเพื่อปรับปรุงความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตสด และเพิ่มความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. วัสดุที่มีความไวต่อปฏิกิริยาดำหรือวัสดุเฉื่อย (Inert Materials)
2. สารปอซโซลาน (Pozzolan)
3. สารที่มีความสามารถเป็นตัวเชื่อมประสาน (Cementitious Materials)

11.6.1 วัสดุที่มีความไวต่อปฏิกิริยาดำหรือวัสดุเฉื่อย (Inert Materials)

สารผสมเพิ่มชนิดนี้ใช้เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสด โดยเฉพาะในคอนกรีตที่ขาดอนุภาคขนาดเล็ก เช่น คอนกรีตที่ทำจากทรายหยาบ หรือที่มีปริมาณปูนซีเมนต์อยู่น้อย คอนกรีตนี้อาจแยกตัวได้ง่ายไม่เหมาะสำหรับการลำเลียงและการเทลงแบบ การปรับปรุงการเกาะตัวและความเหลวของคอนกรีตนี้ด้วยการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์อาจทำไม่ได้ด้วยเหตุผลทางเทคนิค เช่น ทำให้เกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมาก เป็นต้น วิธีการที่ได้คือการใส่แร่ เช่น ผงหินปูน หรือฝุ่นหินปูน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความไวต่อปฏิกิริยาดำ ไม่มีคุณสมบัติเป็นตัวเชื่อมประสาน เหมาะสำหรับการปรับปรุงความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงเท่านั้น

11.6.2 สารปอซโซลาน (Pozzolan)

สารปอซโซลาน หรือ วัสดุปอซโซลาน คือ วัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นซิลิกา หรือซิลิกาและอลูมินา มีคุณสมบัติในการยึดประสานเล็กน้อยหรือไม่มีเลย แต่เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำที่อุณหภูมิปกติ รวมกับความชื้น ก่อให้เกิดสารเชื่อมประสานใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดประสาน นั่นคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) เพิ่มขึ้น เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ว่า “ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction)”



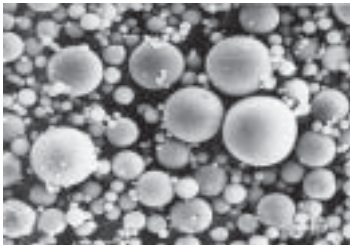
การใช้สารปอซโซลาน อาจใช้ในรูปของสารผสมเพิ่มในคอนกรีต เช่น คอนกรีตปอซโซลาน (Pozzolan Concrete) เป็นต้น หรืออาจใช้ในรูปของปูนซีเมนต์ผสมสารปอซโซลานก็ได้ เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland-Pozzolan Cement) เป็นต้น

การใช้สารปอซโซลานโดยทั่วไป จะช่วยเพิ่มความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตสดที่มีปริมาณปูนซีเมนต์อยู่น้อย มีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำในระยะแรก แต่กำลังจะสูงขึ้นเมื่อคอนกรีตมีอายุมากขึ้นและจะสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาที่อายุมากกว่า 28 วัน และยังช่วยทำให้คอนกรีตมีความคงทนต่อสารเคมีสูงขึ้น เพราะปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ลดลง นอกจากนี้ สารปอซโซลานยังช่วยลดปริมาณและอัตราความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้สามารถใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ผสมสารผสมเพิ่มชนิดนี้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 4 สำหรับโครงสร้างคอนกรีตหยาบ (Mass Concrete)

คุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารปอซโซลานจะขึ้นอยู่กับประเภทและปริมาณสารปอซโซลานในส่วนผสมคอนกรีต การบ่ม และอุณหภูมิ การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตอาจจำเป็นต้องมีการทดลองผสม ต้องควบคุมการบ่มให้ได้ดีและนานกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 3 วันแรก และควรมีการทดสอบคุณภาพคอนกรีตก่อนใช้งานจริงด้วย

ปริมาณการใช้ย่อมขึ้นอยู่กับประเภทและลักษณะงานโครงสร้าง และชนิดและคุณสมบัติของสารปอซโซลาน โดยอาจใช้ได้ปริมาณมากถึง 15 - 40% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ หรืออาจมากกว่านี้

สารปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย, ซิลิกาฟุ้ง, วัสดุปอซโซลานธรรมชาติ, และ Metakaolin เป็นต้น



รูปที่ 11-12 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของอนุภาคเถ้าลอย



รูปที่ 11-13 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของอนุภาคซิลิกาฟุ้ง

เถ้าลอย (Coal Fly Ash หรือ Pulverized Fuel Ash หรือ PFA) เป็นเถ้าอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาถ่านหิน วัสดุนี้เป็นที่นิยมมากเพราะมีลักษณะเป็นผงละเอียดอยู่แล้ว เถ้าลอยที่มีคุณสมบัติที่ดี จะสามารถใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีต เช่น เพิ่มความสามารถเทได้, ลดปริมาณน้ำ, ลดปริมาณความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน, เพิ่มกำลังในระยะยาว, ลดการหดตัว, เพิ่มความทึบน้ำ, และเพิ่มความคงทนต่อสารเคมี เป็นต้น แต่เนื่องจากคุณสมบัติของเถ้าลอยจะเปลี่ยนแปลงตามชนิดและแหล่งของถ่านหินและกระบวนการเผาไหม้ ดังนั้น เถ้าลอยที่จะนำมาใช้ในงานคอนกรีตจึงควรมีคุณสมบัติสอดคล้องกับข้อกำหนด

ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume หรือ Microsilica) คือ สารปอซโซลานประเภทหนึ่งที่ได้จากกระบวนการผลิต Silicon Alloy เนื่องจากซิลิกาฟุ้งมีลักษณะเป็นผงที่มีความละเอียดสูงมากกว่าปูนซีเมนต์มาก ทำให้ปริมาณน้ำที่ต้องการในคอนกรีตเพิ่มขึ้น และมีผลทำให้การหดตัวเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงควรใช้ร่วมกับสารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) โดยสามารถใช้ผสมในคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีต เช่น เพิ่มกำลังในคอนกรีตกำลังสูง, ลดการเยิ้ม, ลดการแยกตัว, เพิ่มความทึบน้ำ, และเพิ่มความคงทนต่อสารเคมี เป็นต้น

วัสดุปอซโซลานธรรมชาติ (Natural Pozzolan) คือ วัสดุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ เช่น เถ้าภูเขาไฟและหิน Tuff, Pumicite, Opaline, Chert, ดินเหนียว, และหิน Shale เป็นต้น โดยปกติต้องนำมาบดให้ละเอียดและเผา

Metakaolin เป็นสารปอซโซลานประเภทหนึ่งที่ได้จากดิน Kaolin ซึ่งผ่านกระบวนการ Calcined และเผาที่อุณหภูมิสูง มีลักษณะเป็นผงที่มีความละเอียดสูงมากกว่าปูนซีเมนต์มาก และกระจายตัวในน้ำได้ดีกว่าซิลิกาฟูม สามารถใช้ผสมในคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีต เช่น เพิ่มกำลังในคอนกรีตกำลังสูง ช่วยทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นมากขึ้น, เพิ่มความทึบน้ำ, และเพิ่มความคงทนต่อสารเคมี เป็นต้น

11.6.3 สารที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (Cementitious Materials)

สารที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน คือ สารซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาไฮเดรชันเมื่อผสมน้ำ เช่น GGBS และเถ้าลอยบางประเภท เป็นต้น

GGBS (Ground Granulated Blast-furnace Slag) สามารถใช้ปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีต เช่น เพิ่มกำลังในระยะยาว, ลดปริมาณความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน, เพิ่มความทึบน้ำ, เพิ่มความต้านทานต่อซัลเฟตและน้ำทะเล, และลดปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction) เป็นต้น



รูปที่ 11-14 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของอนุภาค GGBS

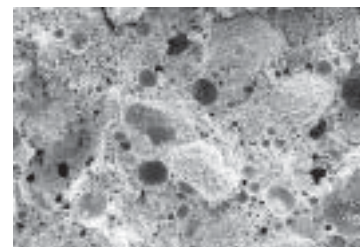
11.7 สารผสมพิเศษอื่น ๆ

สารผสมเพิ่มประเภทนี้ ผลิตขึ้นเพื่อใช้งานจำเพาะเจาะจงบางอย่าง

11.7.1 สารกระจายกักฟองอากาศ (Air-Entraining Admixtures)

สารกระจายกักฟองอากาศ เป็นสารอินทรีย์ที่ทำปฏิกิริยาบนผิว (Organic Surfactants) ที่เติมลงในคอนกรีตก่อนผสมหรือขณะผสม เพื่อก่อให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กกระจายตัวและคงตัวอยู่ในปริมาณที่ต้องการ ทำให้เทคอนกรีตได้ง่ายขึ้น และคอนกรีตแข็งตัวแล้วมีความคงทนสูงขึ้น

ฟองอากาศที่ถูกกักกระจาย (Entrained Air) ที่เกิดขึ้นนี้ แตกต่างจากโพรงอากาศของน้ำที่ถูกกักไว้ (Entrapped Air) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า และจะเกิดในบางบริเวณอันเนื่องมาจากการจี๋เขย่าคอนกรีตไม่ดีพอหรือมีน้ำส่วนเกินอยู่ภายในคอนกรีต สารกระจายกักฟองอากาศนี้ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทนต่อการแข็งตัวของน้ำ หรือเกลือที่ทำให้น้ำแข็งละลาย (De-icing Salts) นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสามารถเทได้ของคอนกรีตอีกด้วย



รูปที่ 11-15 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของฟองอากาศที่ถูกกักกระจายอยู่ในเนื้อมอร์ตาร์

● วัตถุประสงค์

สารกระจายกักฟองอากาศนี้ผลิตขึ้นจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมทำกระดาษ, น้ำมันและอาหารสำเร็จรูปจากสัตว์ วัตถุประสงค์ที่สำคัญ ได้แก่ ยางไม้, น้ำมันสัตว์, น้ำมันพืช, กรดซึ่งได้มาจากยางไม้, หรือจากไขมันของสัตว์และพืช เป็นต้น

● ลักษณะการทำงาน

สารกระจายกักฟองอากาศ ประกอบด้วยตัวเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบนผิวของอนุภาคซึ่งมักจะรวมกันอยู่ระหว่างผิวหน้าและอากาศ ทำให้แรงดึงดูดของน้ำลดลง ก่อให้เกิด



ฟองอากาศขนาดเล็กมากกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต โดยฟองอากาศนี้จะถูกทำให้ยุบตัวด้วย

งานก่อสร้างบางประเภท เช่น งานก่อสร้างพื้นห้องเย็น มีข้อกำหนดให้ใช้คอนกรีตที่มีปริมาณอากาศ 3 - 5% ทั้งนี้เพราะในการใช้งานห้องเย็น ที่จุดเยือกแข็ง (Freezing) น้ำในโพรงคาปิลลารี (Capillary Pores) ในคอนกรีตจะเริ่มเปลี่ยนเป็นน้ำแข็งซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้น จึงเกิดการขยายตัวจนเต็ม แล้วน้ำส่วนเกินจะถูกผลักดันไปยังโพรงอากาศ (Air Voids) ผ่านทางเนื้อซีเมนต์เฟส ความดันที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการไหลของน้ำจากโพรงคาปิลลารีไปยังโพรงอากาศ ถ้าความดันมีค่ามากอาจส่งผลทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ การใส่สารกระจายกักฟองอากาศจะเป็นการเพิ่มโพรงอากาศให้กระจายอยู่ทั่วเนื้อคอนกรีตและมีปริมาณมากเพียงพอ ทำให้น้ำจากโพรงคาปิลลารีสามารถไหลไปยังโพรงอากาศได้สะดวกขึ้น ดังนั้นความดันภายในคอนกรีตจึงลดลง ขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นน้ำในโพรงอากาศจะละลาย (Thawing) และไหลกลับเข้าสู่เนื้อซีเมนต์เฟส ทำให้คอนกรีตสามารถคงทนอยู่ในสภาวะที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งได้อย่างต่อเนื่อง

● ผลของสารกระจายกักฟองอากาศที่มีต่อคอนกรีตสด

คอนกรีตที่ใส่สารกระจายกักฟองอากาศ จะมีความสามารถเทได้ดีขึ้น, มีการยึดเกาะดีขึ้น, ทำให้เนื้อซีเมนต์เฟสมีความสม่ำเสมอมากขึ้น, ลดโอกาสเกิดการแยกตัว, มีการเยิ้มลดลง, และมีหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลง ดังนั้นในคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวเดียวกัน คอนกรีตที่ใส่สารกระจายกักฟองอากาศจะใช้งานได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา เพราะเทลงแบบและอัดแน่นได้ง่ายกว่า ในส่วนผสมที่เหลว ฟองอากาศจะช่วยลดการแยกตัวที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการขนส่งและการใช้งาน

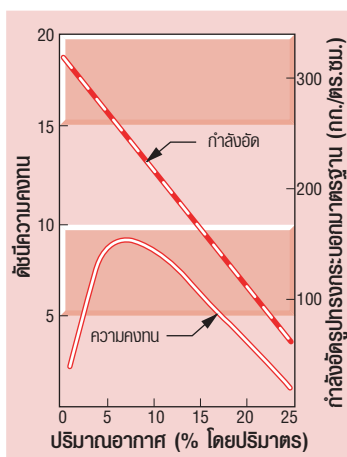
การเพิ่มปริมาณอากาศ 5% จะทำให้ค่ายุบตัวเพิ่มขึ้น 1.5 - 5.0 เซนติเมตร ทั้งนี้เป็นเพราะฟองอากาศขนาดเล็กเหล่านี้ทำหน้าที่เสมือนเป็นมวลรวมละเอียดขนาดเล็ก ซึ่งยึดหยุ่นได้และมีแรงเสียดทานต่ำ จึงช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างของแข็งภายในเนื้อคอนกรีตเหลว คอนกรีตจึงมีลักษณะคล้ายกับว่ามีทรายมาก คุณสมบัตินี้ใช้ได้ผลดีสำหรับส่วนผสมที่ขาดอนุภาคขนาดเล็ก ตามปกติจะไม่ใส่สารกระจายกักฟองอากาศเพื่อเพิ่มค่ายุบตัว แต่ใช้เพื่อลดปริมาณทรายและน้ำสำหรับค่ายุบตัวหนึ่ง ๆ การเพิ่มปริมาณอากาศสามารถทำให้ลดปริมาณน้ำได้ ซึ่งทำให้เกิดกำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น และเป็นส่วนหนึ่งที่ทดแทนกำลังอัดที่ลดลงเนื่องจากปริมาณอากาศในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น

● ผลของสารกระจายกักฟองอากาศที่มีต่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

การใส่สารกระจายกักฟองอากาศ จะช่วยเพิ่มความคงทนให้แก่คอนกรีตที่มีการใช้งานในสภาวะน้ำกลายเป็นน้ำแข็งและละลายสลับกัน (Freeze-Thaw Resistance)

ปริมาณฟองอากาศภายในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นมีผลเสียดกำลังอัดของคอนกรีต โดยฟองอากาศที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 1% จะมีผลทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดลดลงประมาณ 5%

รูปที่ 11-16 แสดงผลให้เห็นว่าปริมาณอากาศที่มากเกินไปจะทำให้ทั้งกำลังอัดและความคงทนของคอนกรีตลดลง



รูปที่ 11-16 ผลของปริมาณอากาศในคอนกรีตที่มีต่อกำลังและความคงทน

โดยสรุป แม้ว่าประเทศไทยจะไม่ใช่ว่าประเทศที่มีอากาศหนาวจัด สารกระจายกักฟองอากาศก็มีความจำเป็นสำหรับงานที่ต้องการความต้านทานการแข็งตัวของน้ำกลายเป็นน้ำแข็ง เช่น งานก่อสร้างพื้นคอนกรีตห้องเย็น เป็นต้น สารกระจายกักฟองอากาศจะมีผลกระทบต่อความสามารถได้ กำลังอัด และความคงทนของคอนกรีต ดังนั้นผู้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจำเป็นต้องนำปัจจัยเหล่านี้มาพิจารณา โดยเฉพาะการออกแบบเผื่อกำลังที่ลดลงเนื่องจากการเติมฟองอากาศเข้าไปในคอนกรีตด้วย



รูปที่ 11-17 งานก่อสร้างพื้นคอนกรีตห้องเย็น จำเป็นต้องใช้คอนกรีตที่ใส่สารกระจายกักฟองอากาศ

● ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการกระจายกักฟองอากาศ

ผลของการกระจายกักฟองอากาศในคอนกรีตขึ้นอยู่กับ

1. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต

- 1.1 **มวลรวมหยาบ** : การลดขนาดของหินหรือกรวด จะทำให้ปริมาณฟองอากาศเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลทางอ้อมมาจากปริมาตรมอร์ตาร์ในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น
- 1.2 **น้ำ** : น้ำที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีต จะไม่มีผลต่อปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้น แต่น้ำกระด้างจะยับยั้งการเกิดฟองอากาศ ดังนั้นจึงต้องใส่ปริมาณสารกระจายกักฟองอากาศเพิ่มขึ้น
- 1.3 **สารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ** : การใช้สารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ ร่วมกับสารกระจายกักฟองอากาศจะต้องทำอย่างระมัดระวังในบางกรณีอาจจะยับยั้งการเกิดฟองอากาศ เช่น การใช้สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) อาจทำให้ฟองอากาศไม่คงตัวในคอนกรีตได้ เป็นต้น หรือในบางกรณีจะต้องใส่สารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ หลังจากที่เกิดฟองอากาศเกิดขึ้นก่อนแล้ว

2. ส่วนผสมคอนกรีต

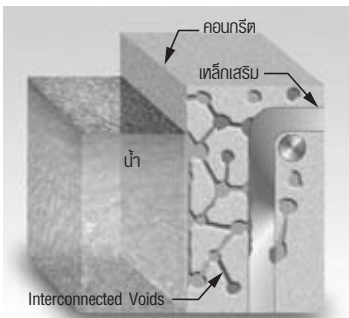
- 2.1 **ปริมาณส่วนละเอียด** : ปริมาณปูนซีเมนต์หรือทรายละเอียดที่เพิ่มขึ้นจะยับยั้งการเกิดฟองอากาศ สัดส่วนของทรายมีความสำคัญต่อปริมาณฟองอากาศ การเพิ่มทรายขนาด 300 - 600 ไมครอน (ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30 แต่ค้างอยู่บนเบอร์ 50) จะก่อให้เกิดปริมาณฟองอากาศมากขึ้น แต่ถ้ามีทรายที่ละเอียดมาก โดยเฉพาะทรายที่ได้จากการบดหินจะยับยั้งการเกิดฟองอากาศ
- 2.2 **อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์** : การเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ จะทำให้ปริมาณฟองอากาศเพิ่มขึ้นและขนาดฟองอากาศใหญ่ขึ้น

3. การทำคอนกรีต

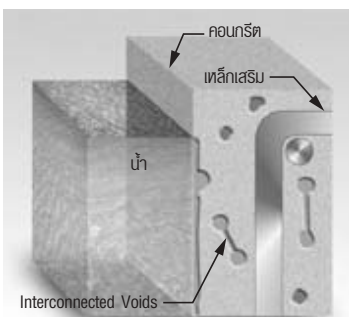
- 3.1 **การผสม** : ชนิดและประสิทธิภาพของเครื่องผสม, อัตราและเวลาที่ใช้ในการผสม, วิธีการใส่สารกระจายกักฟองอากาศในการผสมคอนกรีต, รวมทั้งปริมาณคอนกรีตที่ผสม จะส่งผลกระทบต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต เช่น การผสมคอนกรีตเป็นเวลานาน จะส่งผลทำให้ฟองอากาศลดลง เป็นต้น



รูปที่ 11-18 คอนกรีตที่มีความสามารถ
เทได้ต่ำมาก จะก่อให้เกิดฟองอากาศได้
ยากมาก



ก) คอนกรีตทั่วไป



ข) คอนกรีตที่ใส่สารลดการซึมผ่าน
ของน้ำ

รูปที่ 11-19 คอนกรีตที่ใส่สารลดการ
ซึมผ่านของน้ำ จะมีปริมาณช่องว่างที่
ต่อเนื่องกัน (Interconnected Voids)
ภายในเนื้อคอนกรีตลดลงมาก จึงช่วย
ลดการซึมผ่านของน้ำได้

3.2 การลำเลียง : การขนส่งระยะเวลานานจะส่งผลทำให้ปริมาณฟองอากาศ
ลดลง

3.3 การจี๋เซี่ย : การจี๋เซี่ยคอนกรีตมากเกินไปจะส่งผลทำให้ปริมาณฟอง
อากาศลดลง

4. ความสามารถเทได้

คอนกรีตที่มีความสามารถเทได้ต่ำมาก จะก่อให้เกิดฟองอากาศได้ยากมาก และ
ปริมาณฟองอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถเทได้มากขึ้น ตลอดช่วงค่ายุบตัว 2.5 - 15.0
เซนติเมตร

5. สภาพแวดล้อม

ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตจะเป็นปฏิกิริยาผกผันกับอุณหภูมิกล่าวคือเมื่ออุณหภูมิ
สูงขึ้นจาก 10 °C เป็น 32 °C ปริมาณฟองอากาศจะลดลงประมาณ 50%

11.7.2 สารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ

1. สารกันซึม (Waterproofing Admixtures)

1.1 สารกันซึม (Dampproofing Admixtures หรือ Water Repellants หรือ Hydrophobers)

โดยทั่วไป สารประเภทนี้ทำมาจากวัสดุประเภทสบู่ หรือ Butyl Stearate หรือกรดไขมัน หรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม
ทำให้น้ำไม่จับที่ผิวคอนกรีต และช่วยลดอัตราการซึมผ่านของน้ำเข้าไป
ในคอนกรีตที่แห้งหรือยังไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ แต่จะไม่สามารถทนน้ำที่มี
แรงดันมากได้

1.2 สารลดการซึมผ่านของน้ำ (Permeability-Reducing Admixtures)

ใช้ป้องกันการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่อิ่มตัวด้วยน้ำภายใต้แรงดันน้ำ
จากภายนอก โดยทั่วไป สารประเภทนี้ทำมาจากสารที่มีคุณสมบัติช่วย
ลดน้ำ, หรือสารที่มีคุณสมบัติเร่งการก่อตัว, หรือวัสดุที่มีอนุภาคละเอียด
มาก โดยอาจเป็นผงวัสดุเนื้อละเอียดมาก หรือเป็นผงที่ทำปฏิกิริยากับ
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีผลึกหยาบเกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต
ในซีเมนต์เมตริกซ์ได้ จึงช่วยลดช่องว่างในเนื้อคอนกรีต และช่วยลดการซึม
ผ่านของน้ำได้

2. สารช่วยให้ปั๊มง่าย (Pumping Aids)

ช่วยให้คอนกรีตยึดเกาะตัวกัน เคลื่อนผ่านท่อปั๊มไปได้ถึงแม้ว่าคอนกรีตนั้นจะมี
ปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำ

3. สารทำให้เกิดสี (Coloring Admixtures)

สารทำให้เกิดสี ใช้เพื่อทำให้เกิดสีในคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ โดยไม่ควรมีผลกระทบ
ทางด้านกายภาพอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการของส่วนผสม มีทั้งที่เป็นวัสดุธรรมชาติและที่สังเคราะห์
ขึ้น

4. สารอุดประสาน (Grouting Admixtures)

ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อการอัดฉีดเข้าไปในช่องหรือบริเวณแคบ ๆ โดยป้องกันการแยกตัว การเยิ้ม รวมทั้งเพิ่มการยึดเกาะเพื่อให้บ่มได้สะดวก เหมาะที่จะนำไปใช้กับงานต่าง ๆ เช่น งานเสริมความแข็งแรงให้แก่ฐานราก, อุดรอยร้าวหรือรอยต่อในงานคอนกรีต, อุดช่องว่างในงานคอนกรีตอัดแรงระบบ Bonding เป็นต้น

5. สารเพิ่มการขยายตัว (Expansion-Producing Admixtures)

มีสารเคมีหลัก คือ Calcium Sulpho-Aluminate ซึ่งจะขยายตัวในระหว่างช่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีต หรือทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่น ๆ ในคอนกรีต ก่อให้เกิดการขยายตัว เพื่อลดผลกระทบจากการเกิดหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) ให้เหลือน้อยที่สุด ใช้ทดแทนการหดตัวของคอนกรีตในการก่อสร้างทั่ว ๆ ไปทั้งงานเทคอนกรีตชนิดที่มีการยัดรังและที่ไม่มีการยัดรัง

6. สารป้องกันการกัดกร่อนเหล็กเสริม (Corrosion Inhibiting Admixtures)

เป็นเกลือของสารเคมี เช่น แคลเซียมไนไตรต์ (Calcium Nitrite) ที่มีประจุที่เกิดออกซิไดส์ได้ ใช้เป็นสารผสมเพิ่มในคอนกรีตเพื่อป้องกันการกัดกร่อนเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องสัมผัสกับสภาพแวดล้อมทะเลซึ่งมีปริมาณสารคลอไรด์มาก

7. สารป้องกันการเกิดเชื้อรา (Fungicidal Admixtures)

ใช้เพื่อยับยั้งและควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและราในพื้นที่พื้นคอนกรีตกำแพงหรือรอยต่อ

8. สารสร้างฟองก๊าซ (Gas-Forming Admixtures)

เป็นสารช่วยสร้างฟองก๊าซในเนื้อคอนกรีตสดในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงก่อนเวลาการก่อตัวเริ่มต้น เพื่อควบคุมการทรุดตัวและการเยิ้ม, ควบคุมการขยายตัวชดเชยการหดตัว, เพิ่มแรงยึดเหนี่ยว, ทำให้มีหน่วยน้ำหนักเบา, หรือเป็นฉนวนกันความร้อนหรือกันเสียง นิยมนำไปใช้งานต่าง ๆ เช่น งานอุดท่อ (Grouting) ลวดอัดแรงชนิดอัดแรงที่หลัง (Post-tensioned), งานซ่อมรอยต่อหรือการยัดระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป, งานซ่อมแซมคอนกรีต, งานผลิตคอนกรีตฉนวนความร้อนหรือกันเสียง (Cellular Concrete), และงานผลิตคอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบา เป็นต้น

9. สารเชื่อมประสาน (Bonding Admixtures)

ส่วนใหญ่ทำมาจาก Organic Polymer Emulsion ที่รู้จักกันในชื่อ “Latex” ใช้เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่ หรือระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม



มาตรฐานอ้างอิง

- มอก. 733-2530 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต
- มอก. 850-2532 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปอซโซลาน
- มอก. 874-2532 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีต
- มอก. 985-2533 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหล
- E.I.T.Standard 1014-46 : ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต, คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- ASTM C 260 : 2001 : Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete
- ASTM C 494 : 2004 : Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete
- ASTM C 618 : 2003 : Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete
- ASTM C 979 : 1999 : Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete
- ASTM C 989 : 2004 : Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars
- ASTM C 1017 : 2003 : Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete
- ASTM C 1240 : 2004 : Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures
- BS EN 934-2 : 2001 : Admixtures for concrete, mortar and grout---Part 2: Concrete admixtures---Definitions, requirements, conformity, marking and labelling

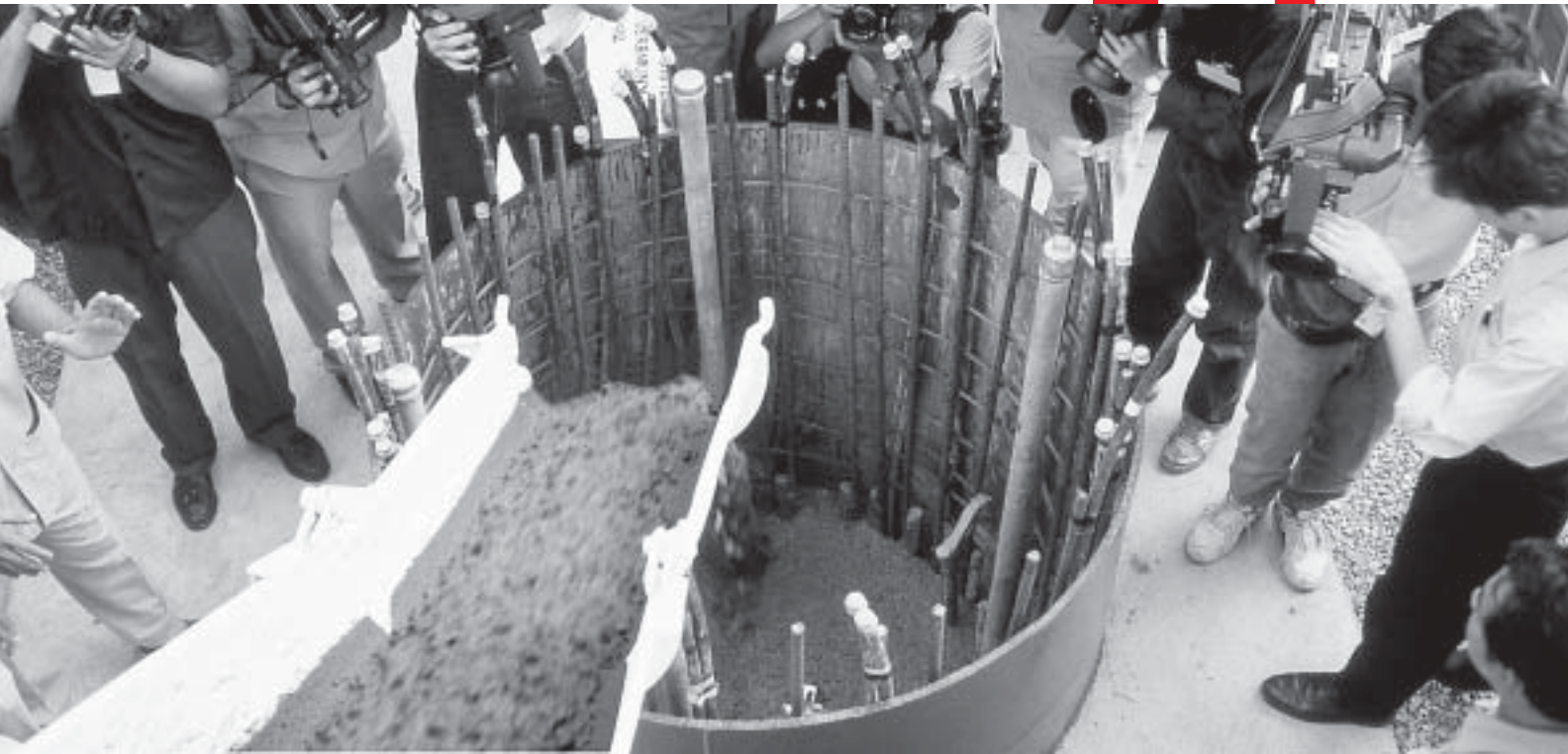
เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, "คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)", คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 เอกสารวิชาการของคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2545.
- 3 ACI Committee 212, "ACI 212.3R-91 : Chemical Admixtures for Concrete", 2002.
- 4 ACI Committee 212, "ACI 212.4R-93 : Guide for the Use of High Range Water-Reducing Admixtures (Superplasticizers) in Concrete", 2002.
- 5 A. M. Neville, "Properties of Concrete", Fourth Edition, 1999.
- 6 P. Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, "Concrete Structure, Properties, and Materials", Second Edition, 1993.
- 7 Peter C. Hewlett, "Leas Chemistry of Cement and Concrete", Fourth Edition, 1998.
- 8 V. S. Ramachandran, "Concrete Admixtures Handbook", Second Edition, 1995.

คุณสมบัติของคอนกรีตสด

บทที่

12



รูปที่ 12-1 การสาธิตการเทคอนกรีตสดที่มีคุณสมบัติความสามารถเทได้ดี

บทคัดย่อ

คอนกรีตสด คือ คอนกรีตที่คงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะแข็งตัวในเวลาต่อมา และมีความข้นเหลวเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานหล่อเป็นคอนกรีตแข็งตัวแล้วที่มีรูปร่างและคุณสมบัติตามต้องการได้

คุณสมบัติของคอนกรีตสด มีความสำคัญมาก แม้ว่าคอนกรีตสดจะเป็นเพียงสภาพชั่วคราวของคอนกรีตก่อนการแข็งตัว แต่เนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้วที่ดีได้แก่ รูปร่างและความสวยงาม, กำลัง, การเปลี่ยนรูปร่าง, ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำ, และความคงทน เหล่านี้เป็นผลมาจากการอัดแน่นคอนกรีตสดที่ดี รวมถึงการลำเลียง, การเท, และการแต่งผิวหน้า ล้วนแต่เป็นผลมาจากคุณสมบัติ “ความสามารถเทได้” ของคอนกรีตสดที่ดีทั้งสิ้น

คอนกรีตสดที่ดี จะต้องมีความสำคัญ ได้แก่ มีเนื้อสม่ำเสมอเหมือนกันทุกส่วน, มีความสามารถเทได้ดี โดยไม่เกิดการแยกตัวขึ้น และไม่เกิดการเยิ้มมากเกินไป, มีเวลาการก่อตัวนานพอที่จะสามารถทำงานได้ทัน, และยังคงจำเป็นต้องมีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานโดยเฉพาะด้วย



12.1 คำนิยาม

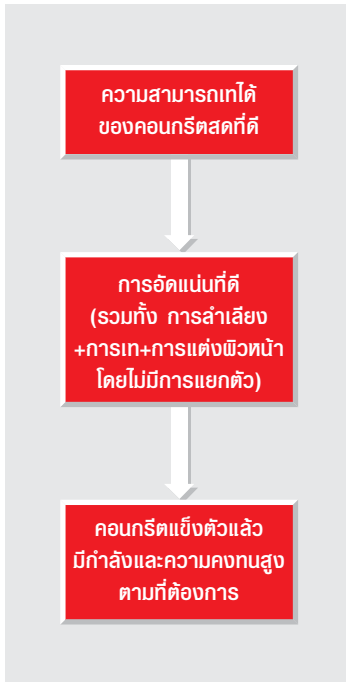
คอนกรีตสด (Fresh Concrete)

คือ คอนกรีตที่คงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะแข็งตัวในเวลาต่อมา และมีความชื้นเหลวเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานหล่อเป็นคอนกรีตแข็งตัวแล้วที่มีรูปร่างและคุณสมบัติตามต้องการได้

ความสามารถเทได้ (Workability)

คือ ปริมาณงานที่ใช้ในการอัดคอนกรีตสดให้แน่นโดยปราศจากการแยกตัว

ใน ตารางที่ 12-1 แสดงคำนิยามของความสามารถเทได้ที่นิยามโดยองค์กรต่าง ๆ



รูปที่ 12-2 คุณสมบัติของคอนกรีตสดส่งผลโดยตรงต่อกำลังและความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

องค์กร	คำนิยาม
ASTM C 125 (American Society for Testing and Materials)	คุณสมบัติที่กำหนดความพยายามที่ต้องการสำหรับการเท, การอัดแน่น, และการแต่งผิวหน้าขั้นสุดท้าย ของคอนกรีตสดให้มีเนื้อสม่ำเสมอมากที่สุด
ACI 116R (American Concrete Institute)	คุณสมบัติของคอนกรีตสดหรือมอร์ตาร์สดที่ใช้กำหนดความยากง่ายและความเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อได้รับการผสม, การเท, การอัดแน่น, และการแต่งผิวหน้าขั้นสุดท้าย
BSI (British Standard Institution)	คุณสมบัติของคอนกรีตสดหรือมอร์ตาร์สดหรือวัสดุใกล้เคียงในการกำหนดความยากง่ายในการใช้งาน และการอัดแน่นสมบูรณ์
Association of Concrete Engineers, Japan	คุณสมบัติของคอนกรีตสดหรือมอร์ตาร์สดในการกำหนดความยากง่ายในการได้รับการผสม, การเท, และการอัดแน่น จากความชื้นเหลวและความเป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีตเอง ด้วยวิธีการทำคอนกรีต และระดับในการต้านทานต่อการแยกตัวของวัสดุ

ตารางที่ 12-1 คำนิยามของความสามารถเทได้

การยึดเกาะ (Cohesion)

คือ คุณสมบัติของเนื้อคอนกรีตสดที่สามารถจับรวมเป็นกลุ่มหรือสลายตัวออกจากกันได้ยาก และเกี่ยวข้องกับแนวโน้มของคอนกรีตสดที่จะเกิดการเยิ้ม หรือการแยกตัว

ความชื้นเหลว (Consistency)

คือ สภาพความเหลวของคอนกรีตสดซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเป็นส่วนใหญ่ ความชื้นเหลวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของความสามารถในการใช้งาน และสามารถวัดค่าได้ชัดเจนด้วยวิธีการทดสอบ เช่น ค่ายุบตัว, และค่าการไหล เป็นต้น

การแยกตัว (Segregation)

คือ การแยกจากกันของวัสดุองค์ประกอบต่าง ๆ ในเนื้อคอนกรีตสด ทำให้ส่วนผสมมีเนื้อไม่สม่ำเสมอตลอดทุกส่วน

การเยิ้ม (Bleeding)

คือ การแยกตัวชนิดหนึ่ง โดยเป็นปรากฏการณ์การคายน้ำของคอนกรีตสด เกิดขึ้นเมื่อส่วนประกอบที่หนักกว่าจมตัวลง แล้วดันน้ำซึ่งเบาที่สุดขึ้นสู่ผิวหน้าคอนกรีต

12.2 ความสามารถทดได้

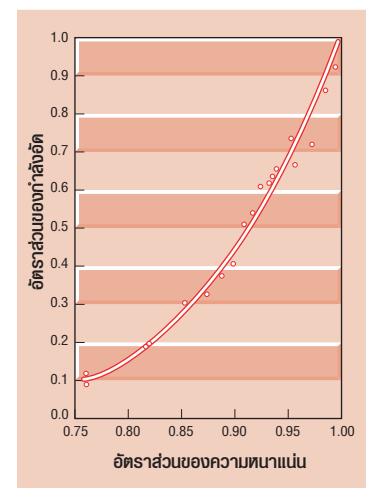
คำจำกัดความของความสามารถทดได้ก็คือ “ผลรวมของพลังงานหรือกำลังงานที่จะเอาชนะแรงเสียดทานในระหว่างอนุภาคของส่วนผสมในเนื้อคอนกรีตสด อันจะก่อให้เกิดการอัดแน่นของคอนกรีตอย่างสมบูรณ์”

โดยทฤษฎีพลังงานนี้จะต้องเอาชนะแรงเสียดทานภายในระหว่างอนุภาคของส่วนผสมในเนื้อคอนกรีตสด แต่ในทางปฏิบัติพลังงานที่ใส่เข้าไปนี้จะต้องเอาชนะทั้งแรงเสียดทานภายในระหว่างอนุภาคและแรงเสียดทานระหว่างส่วนผสมคอนกรีตกับแบบหล่อและเหล็กเสริม นอกจากนี้พลังงานบางส่วนจะสูญเสียไปในการเขย่าแบบหล่อ และเขย่าคอนกรีตที่อัดแน่นเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงเป็นการยากที่จะวัดค่าความสามารถทดได้ของคอนกรีตตามคำนิยามนี้ สิ่งที่เราวัดความสามารถทดได้จึงเป็นวิธีการที่ประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมเท่านั้น

ความสามารถทดได้ของคอนกรีตสดที่เหมาะสมในการใช้งาน นอกจากการคำนึงถึงความง่ายในการทำงานและการไม่แยกตัวของเนื้อคอนกรีตแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงชนิดของโครงสร้างและวิธีการเทและวิธีการจี้เขย่าด้วย เพื่อให้เนื้อคอนกรีตได้รับการอัดแน่นมากที่สุด เช่น คอนกรีตที่เหมาะสมกับงานฐานรากขนาดใหญ่ที่มีค่ายุบตัวสูง อาจไม่เหลวเพียงพอที่จะเทในงานที่มีเหล็กเสริมหนาแน่นมากหรือโครงสร้างบาง ๆ ได้ เป็นต้น

เพราะว่ากำลังอัดของคอนกรีตจะผันแปรหรือได้รับผลกระทบโดยตรงจากช่องว่างที่ปรากฏอยู่ในเนื้อคอนกรีตที่อัดแน่น ดังนั้นควรทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ นั่นคือจำเป็นต้องทำให้คอนกรีตสดมีความสามารถทดได้เพียงพอ เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถอัดแน่นได้ดี โดยใช้พลังงานที่เหมาะสมภายใต้สภาพที่กำหนด

ใน **รูปที่ 12-3** จะเห็นว่า ช่องว่างที่อยู่ในเนื้อคอนกรีตจะทำให้ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง และส่งผลทำให้กำลังอัดลดลงอย่างมาก โดยช่องว่างที่เกิดขึ้น 5% สามารถทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดลดลงถึงประมาณ 30%



รูปที่ 12-3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความหนาแน่นและอัตราส่วนของกำลังอัด

● การทดสอบความสามารถทดได้

การทดสอบความสามารถทดได้ทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความชันเหลวของคอนกรีต โดยทั่วไปนิยมใช้การทดสอบค่ายุบตัวซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่แพร่หลายที่สุด แต่ยังมีวิธีการทดสอบอื่น ๆ อีกดังใน **ตารางที่ 12-2** นี้

การทดสอบ	มาตรฐานการทดสอบ	ขอบข่ายการทดสอบ
1. การทดสอบวีบี (Vebe Test)	BS EN 12350-3	ใช้กับคอนกรีตสดที่มีลักษณะเนื้อแข็งถึงแข็งมาก
2. ระดับของความสามารถอัดแน่น (Degree of Compactability)	BS EN 12350-4	ใช้กับคอนกรีตสดที่มีลักษณะเนื้อแข็ง
3. การทดสอบค่ายุบตัว (Slump Test)	ASTM C 143, BS EN 12350-2	ใช้กับคอนกรีตสดโดยทั่วไป
4. การทดสอบโต๊ะการไหล (Flow Table Test)	BS EN 12350-5	ใช้กับคอนกรีตสดที่มีลักษณะเนื้อเหลวมาก

ตารางที่ 12-2 การทดสอบความสามารถทดได้ของคอนกรีตสด



12.3 ปังจี้ที่มีผลต่อความสามารถเทได้

ความสามารถเทได้ขึ้นอยู่กับปังจี้ต่าง ๆ ที่มาเกี่ยวข้อง ดังใน ตารางที่ 12-3



รูปที่ 12-4 หินที่มีรูปร่างยาวหรือแบน จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ต่ำกว่า

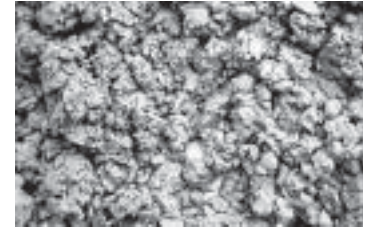


รูปที่ 12-5 ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนทรายต่อมวลรวมทั้งหมดต่ำเกินไป จะเกิดการแยกตัวได้ง่าย

ปังจี้ที่มีผลต่อความสามารถเทได้	ผลกระทบ
1. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต	ปูนซีเมนต์ - ถ้าต้องการให้ความสามารถเทได้เท่ากัน ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากกว่าจะต้องการน้ำปริมาณมากกว่า มวลรวม - ดินทรายที่มีขนาดละเอียด จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ดี - ดินที่กลมผิวเกลี้ยง จะทำให้คอนกรีตมีการสั่นไหลที่ดีกว่าดินที่ยาวหรือแบนและผิวขรุขระ - ความพรุนของมวลรวม จะทำให้การดูดซึมน้ำสูงและลดความสามารถเทได้ลง - ถ้าต้องการให้ความสามารถเทได้เท่ากัน มวลรวมที่ละเอียดต้องใช้ในน้ำในส่วนผสมมากกว่ามวลรวมที่หยาบ สารผสมเพิ่ม - สารผสมเพิ่มชนิดผงละเอียดบางชนิด เช่น เถ้าลอย ที่มีคุณภาพดี เป็นต้น จะช่วยเพิ่มความสั่นไหลให้กับคอนกรีต - สารกระจายกักฟองอากาศ (Air Entraining Agent) จะทำให้คอนกรีตมีการสั่นไหลดีขึ้น แต่กำลังอัดอาจลดลง - สารลดน้ำจะช่วยเพิ่มการสั่นไหล
2. ส่วนผสมคอนกรีต	ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต - ปริมาณน้ำผสมคอนกรีตเป็นปังจี้สำคัญที่มีผลกระทบต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด โดยการเพิ่มปริมาณน้ำจะทำให้เกิดการหล่อลื่นในระหว่างอนุภาคมากขึ้น - ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดช่องว่างเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วมากขึ้น ดังนั้นควรใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม - ปริมาณน้ำที่พอเหมาะสำหรับช่องว่างระหว่างมวลรวมจึงมีผลต่อการหล่อลื่น อัตราส่วนมวลรวมต่อปูนซีเมนต์ (A/C) - ภายใต้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์คงที่ ความสามารถเทได้จะเพิ่มขึ้นถ้าอัตราส่วนมวลรวมต่อปูนซีเมนต์ลดลง อัตราส่วนทรายต่อมวลรวมทั้งหมด (S/A) - ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนทรายต่อมวลรวมทั้งหมดต่ำสามารถก่อให้เกิดการแยกตัวได้ รวมทั้งความสามารถเทได้จะต่ำลงด้วย - ถ้าใช้ทรายในส่วนผสมมากขึ้น อาจทำงานง่ายขึ้น แต่จะสิ้นเปลืองปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้นด้วย ถ้าจะยังคงกำลังอัดเท่าเดิม

ตารางที่ 12-3 ปังจี้ที่มีผลต่อความสามารถเทได้

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถได้	ผลกระทบ
3. เวลา หรืออายุของคอนกรีตสด	- เมื่อเวลาผ่านไป คอนกรีตสดจะเริ่มก่อตัวและแข็งตัวในที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เพราะน้ำผสมคอนกรีตบางส่วนถูกใช้ไปในปฏิกิริยาไฮเดรชัน บางส่วนถูกดูดซับไว้โดยมวลรวม และบางส่วนระเหยไป - การเริ่มก่อตัวของคอนกรีตสามารถวัดได้โดยการวัดความสามารถได้ที่สูญเสียไปกับเวลาที่ผ่านมา โดยการวัดค่าการสูญเสียค่ายุบตัว หรือ “Slump Loss”
4. อุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิคอนกรีตสด, ความเร็วลม, และความชื้นสัมพัทธ์	ถ้าอากาศร้อน ลมแรง และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ คอนกรีตสดจะมีอุณหภูมิสูง และมีอัตราการระเหยของน้ำสู่ภายนอกเร็วขึ้น ทำให้คอนกรีตสูญเสียความสามารถได้เร็วขึ้น
5. ระยะเวลาผสมคอนกรีต, ลำดับการผสม, และชนิดและประสิทธิภาพของเครื่องผสม	- ถ้าระยะเวลาผสมคอนกรีตน้อยเกินไป จะทำให้คอนกรีตสดมีเนื้อไม่สม่ำเสมอ มีความสามารถในการได้ไม่ดี และเกิดการแยกตัวได้ง่าย เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วอาจมีผิวหน้าไม่เรียบและมีโพรงอากาศมาก - ถ้าระยะเวลาผสมคอนกรีตนานเกินไป จะทำให้คอนกรีตสดมีความสามารถในการได้ลดลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำเช่นเดียวกับเหตุผลเรื่องเวลาหรืออายุของคอนกรีตสด - ลำดับการผสม และชนิดและประสิทธิภาพของเครื่องผสมที่แตกต่างกัน มักทำให้คอนกรีตสดมีความสามารถได้ที่แตกต่างกันด้วย



รูปที่ 12-6 เนื้อคอนกรีตสดมีลักษณะแห้ง และมีความสามารถได้ที่ต่ำ เนื่องจากคอนกรีตเริ่มก่อตัวและเกิดการสูญเสียน้ำไปบางส่วน

ตารางที่ 12-3 (ต่อ) ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถได้

12.4 การยึดเกาะและการแยกตัว

ส่วนผสมของคอนกรีตสดที่ดีจะต้องมีความสามารถที่ได้ดี ไม่มีการแยกตัว (Segregation) ของวัสดุองค์ประกอบ หรือคอนกรีตควรมีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทุกส่วน นั่นคือ คอนกรีตมีการยึดเกาะ (Cohesion) ที่ดีนั่นเอง



รูปที่ 12-7 ลักษณะเนื้อคอนกรีตสดที่เหลวมากด้วยน้ำยาผสมคอนกรีต มีเนื้อสม่ำเสมอ มีการยึดเกาะดี และไม่เกิดการแยกตัว

คุณสมบัติความต้านทานต่อการแยกตัวของคอนกรีตสดมีความสำคัญ เพราะเป็นคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อความสามารถได้ที่ของคอนกรีตสดเองและยังมีผลต่อกำลังและความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้วด้วย



รูปที่ 12-8 เนื้อคอนกรีตเกิดการแยกตัว



รูปที่ 12-9 คอนกรีตเกิดการแยกตัว เนื่องจากการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตไม่เหมาะสม

● รูปแบบของการแยกตัว

1. มวลรวมหยาบแยกตัวออกจากส่วนผสม เมื่อคอนกรีตเคลื่อนที่ผ่านทางชั้น หรือ มวลรวมหยาบจมตัวลงมากกว่ามวลรวมละเอียด
2. ซีเมนต์เพสต์หรือน้ำปูนแยกตัวออกจากส่วนผสม เนื่องจากส่วนผสมเหลวมากเกินไป หรือเกิดการเยิ้มขึ้น

● ผลกระทบของการแยกตัว

ถ้าคอนกรีตเกิดการแยกตัว การอัดแน่นคอนกรีตอย่างสมบูรณ์จะกระทำไม่ได้ยาก และไม่สามารถทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงเท่าที่ควรจะเป็น ส่งผลทำให้คอนกรีตแข็งตัวแล้วมีกำลัง, แรงยึดเหนี่ยว, ความคงทน, และอายุการใช้งานลดลง

● สาเหตุของการแยกตัว

สาเหตุของการแยกตัวของคอนกรีตสด ดังใน ตารางที่ 12-4

เลือกใช้วัสดุผสมคอนกรีตที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสม	ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตไม่เหมาะสม	วิธีการก่อสร้างไม่ถูกต้อง
- ใช้มวลรวมหยาบที่มีขนาดโตสุดเกิน 1 นิ้ว - ขนาดคละของมวลรวมไม่ดี โดยเฉพาะการใช้ทรายที่มีขนาดคละออกหยาบหรือมีขนาดคละขาดตอน - ใช้มวลรวมที่มีความกว้างจำเพาะแตกต่างกันมาก	- มีส่วนของมวลรวมหยาบในส่วนผสมคอนกรีตมากเกินไป - สัดส่วนของส่วนละเอียด (ปูนซีเมนต์และทราย) ในส่วนผสมคอนกรีตน้อยเกินไป - ส่วนผสมคอนกรีตที่เหลวมากเกินไปหรือแห้งมากเกินไป	- การสั่นหรือการขนส่งเป็นระยะทางไกลมากเกินไป - การเทคอนกรีตไม่ถูกวิธี เช่น เทผ่านรางที่เปลี่ยนทิศทาง, ปลอ่ยคอนกรีตกระทบกับสิ่งกีดขวาง, ปลอ่ยคอนกรีตจากระยะที่สูงเกินไป - การอัดแน่นไม่ถูกวิธี เช่น จี้เย้านานเกินไป, จี้เย้าให้คอนกรีตไหลในแนวราบ

ตารางที่ 12-4 สาเหตุของการแยกตัว

● วิธีการป้องกันการแยกตัว

วิธีการป้องกันการแยกตัวของคอนกรีตสด ดังใน ตารางที่ 12-5

เลือกใช้วัสดุผสมคอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสม	ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสม	ทำการก่อสร้างด้วยวิธีการที่ถูกต้อง
- ใช้มวลรวมหยาบที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 1 นิ้ว - ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละดี - ใช้มวลรวมที่มีความกว้างจำเพาะใกล้เคียงกัน	- ทำให้คอนกรีตเหลวและมีความสามารถเทได้ดี โดยการใช้น้ำยาลดน้ำแทนที่การเพิ่มปริมาณน้ำ - ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสม มีส่วนละเอียด (ปูนซีเมนต์และทราย) เพียงพอ - ผสมสารผสมเพิ่มประเภทแร่ผสมเพิ่มเพื่อเพิ่มปริมาณส่วนละเอียดในส่วนผสม	- สั่นอย่างถูกวิธี - เทอย่างถูกวิธี - อัดแน่นอย่างถูกวิธี

ตารางที่ 12-5 วิธีการป้องกันการแยกตัว



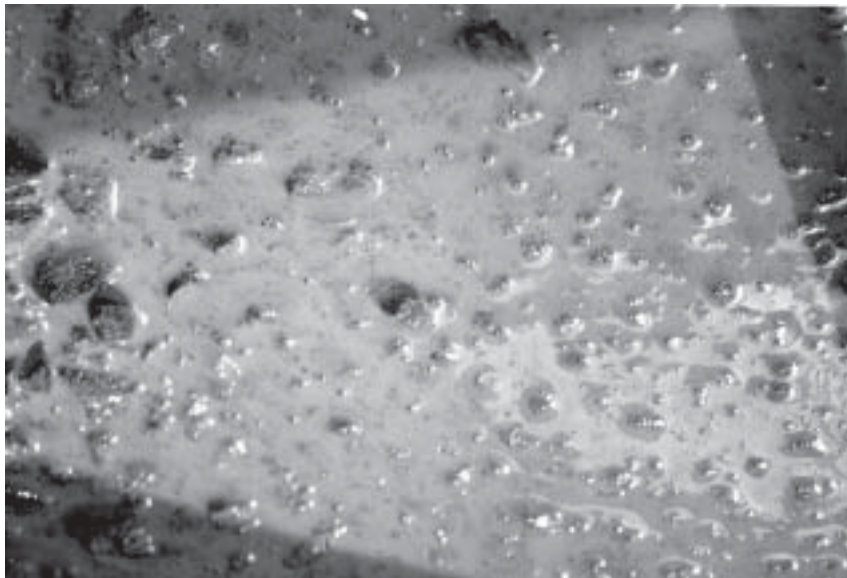
รูปที่ 12-10 เครื่องมือทดสอบความต้านทานต่อการแยกตัวของคอนกรีตสด "CPAC SERT Apparatus" นวัตกรรมด้านเครื่องมือทดสอบคอนกรีต (ที่มา : คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค)

- การทดสอบการยี้ดเกาะและการแยกตัว

โดยทั่วไป นิยมใช้วิธีสังเกตการยี้ดเกาะและการแยกตัวจากลักษณะเนื้อคอนกรีต สดจากการทดสอบค่ายุบตัว (Slump Test) ตามมาตรฐาน ASTM C 143

12.5 การเยิ้ม

การเยิ้ม (Bleeding) เป็นปรากฏการณ์การคายน้ำของคอนกรีตสด และเป็นรูปแบบหนึ่งของการแยกตัว ลักษณะที่สำคัญคือ น้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบที่เบาที่สุดในส่วนผสมบางส่วน ถูกดันให้ลอยตัวขึ้นมาอยู่ที่ผิวหน้าของคอนกรีตสด อันเนื่องมาจากการจมลงของมวลรวมซึ่งเป็นองค์ประกอบที่หนักกว่าในส่วนผสม และการเยิ้มจะหยุดเมื่อซีเมนต์เพสต์แข็งตัวพอที่จะหยุดการจมลงของมวลรวม



รูปที่ 12-11 การเยิ้มของน้ำและน้ำยาเนื่องจากใส่ไน้หรือสารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) ในส่วนผสมคอนกรีตมากเกินไป

- รูปแบบของการเยิ้ม

1. การเยิ้มที่เกิดขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งผิวหน้าคอนกรีต มักเกิดในปริมาณน้อย และไม่เป็นอันตรายนัก
2. การเยิ้มที่เกิดขึ้นอย่างมากเฉพาะบางบริเวณหรือเฉพาะจุด โดยปกติจะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต

- ผลกระทบของการเยิ้ม

การเยิ้มจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตใน 3 ลักษณะ คือ

1. ทำให้ผิวคอนกรีตอ่อนแอและไม่สวยงาม เกิดเป็นฝุ่น หรือหลุดล่อนเป็นแผ่น ๆ ได้ง่าย
ถ้าคอนกรีตสดเกิดการเยิ้มน้ำขึ้นมาที่ผิวด้านบนมากเกินไปเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วผิวด้านบนของคอนกรีตจะมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงที่สุดหรือมีกำลัง



รูปที่ 12-12 การเยิ้มของน้ำและน้ำยาขึ้นมาที่ผิวหน้าคอนกรีตเฉพาะจุด



รูปที่ 12-13 การเยิ้มของคอนกรีตที่มากเกินไป ทำให้ผิวหน้าคอนกรีตเป็นฝุ่นได้ง่าย

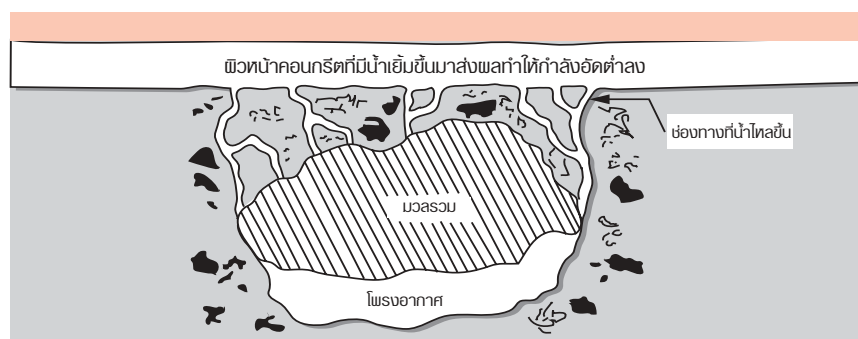


รูปที่ 12-14 ผิวหน้าคอนกรีตเกิดเป็นชั้นบาง ๆ ที่เรียกว่า Laitance ทำให้หลุดลอกเป็นแผ่น ๆ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการแต่งผิวหน้าคอนกรีตในขณะที่ยังมีน้ำเยิ้มอยู่

ต่ำที่สุด จึงมีแนวโน้มเกิดการเป็นฝุ่น (Dusting) ได้ง่าย โดยเฉพาะผิวหน้าถนนคอนกรีตซึ่งต้องรับการขัดสีจากล้อยานพาหนะปริมาณมาก และถ้ามีการแต่งผิวหน้าคอนกรีตในขณะที่ยังมีน้ำเยิ้มอยู่จะทำให้เกิดการผสมของน้ำกับอนุภาคละเอียดของปูนซีเมนต์และทราย เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะเกิดชั้นของส่วนละเอียด หรือ “Laitance” บริเวณผิวด้านบนของคอนกรีต ซึ่งมีลักษณะเป็นชั้นบาง ๆ ที่อ่อนแอ มีรูพรุนสูง มีกำลังต่ำ และมีความต้านทานการขัดสีต่ำ จึงมีแนวโน้มที่จะเกิดการหลุดลอกเป็นแผ่น ๆ (Peeling) หรือเกิดการเป็นฝุ่นได้ง่ายเช่นกัน ดังนั้นจึงควรยืดเวลาการแต่งผิวหน้าคอนกรีตออกไป เพื่อให้เวลาที่ผิวจะเหี่ยวออกไปก่อน นอกจากนี้ กรณีงานเทคอนกรีตทับบนผิวคอนกรีตเก่าซึ่งเกิด Laitance ขึ้น เช่น การเทคอนกรีตฐานรากขนาดใหญ่ จะเกิดชั้นที่อ่อนแอและเป็นรูพรุน ทำให้โครงสร้างนี้ขาดความคงทน ดังนั้นหากต้องเทคอนกรีตชั้นใหม่ทับ จำเป็นต้องทำการขัดล้างชั้น Laitance บนผิวหน้าคอนกรีตชั้นเก่าออกก่อน

2. ทำให้เกิดโพรงอากาศข้างใต้มวลรวมหยาบและเหล็กเสริม และทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม

นอกจากน้ำที่ลอยตัวขึ้นมาแล้ว น้ำบางส่วนจะถูกกักไว้ใต้มวลรวมหยาบและเหล็กเสริม ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหรือเหล็กเสริมลดลงอย่างมาก และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะเกิดโพรงอากาศ (Capillary Pores) ที่เรียงตัวต่อเนื่องในทิศทางเดียวกันทำให้การซึมผ่านได้ของน้ำเข้าสู่ภายในเนื้อคอนกรีต โดยเฉพาะในระนาบแนวนอนอาจเพิ่มขึ้น และยังทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมเร็วขึ้นด้วย การเอี๊ยมนี้อาจพบได้บ่อยในงานเทคอนกรีตพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น ฐานรากขนาดใหญ่, และถนน เป็นต้น

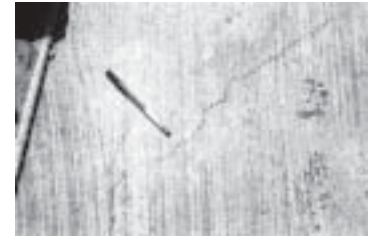


รูปที่ 12-15 การเอี๊ยมของคอนกรีตสดทำให้เกิดโพรงอากาศข้างใต้มวลรวมหยาบ

3. มีผลกระทบต่อเกิดการแตกร้าวในช่วงที่คอนกรีตกำลังก่อตัว

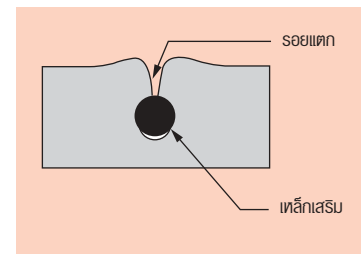
3.1 มีผลกระทบต่อเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวในช่วงกำลังก่อตัว (Plastic Shrinkage Crack) ของคอนกรีต : การแตกร้าวชนิดนี้ มีสาเหตุมาจากคอนกรีตในสภาวะพลาสติกหรือในช่วงหลังจากการแต่งผิวหน้าคอนกรีตแล้วเสร็จจนถึงช่วงที่คอนกรีตเริ่มก่อตัว (โดยทั่วไปจะเกิดในช่วง 30 นาที ถึง 6 ชั่วโมง หรืออาจเกิดขึ้นช้ากว่านี้ ถ้ามีการใช้สารหน่วงการ

ก่อตัวจะทำให้คอนกรีตก่อตัวนานขึ้น) มีอัตราการระเหยของน้ำจากผิวหน้าคอนกรีตออกสู่ภายนอกสูงกว่าอัตราการเยิ้มของน้ำขึ้นมาที่ผิวหน้าคอนกรีต ทำให้ผิวหน้าคอนกรีตแห้ง จึงเกิดการหดตัวและเกิดหน่วยแรงดึง (Tensile Stress) ขึ้น และถ้าหน่วยแรงดึงนี้เกิดขึ้นสูงกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (Tensile Strength) ผิวหน้าคอนกรีตจะเกิดการแตกร้าวขึ้นได้ รูปแบบของรอยแตกร้าว จะมีรูปแบบไม่แน่นอน และมักเกิดขึ้นกับโครงสร้างคอนกรีตที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศมาก เช่น ถนน, และพื้นสนามบิน เป็นต้น จะเห็นว่า แม้โดยทั่วไปการเยิ้มจะส่งผลเสียต่อคุณภาพที่ผิวหน้าคอนกรีตและเหล็กเสริม แต่การเกิดการเยิ้มเพียงเล็กน้อยและในอัตราที่ไม่น้อยกว่าอัตราการระเหยของน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อมแล้ว กลับจะส่งผลดีต่อการช่วยลดโอกาสเกิดการแตกร้าวชนิดนี้ได้ดีกว่า เพราะถ้าหากไม่เกิดการเยิ้มขึ้นเลยหรือเกิดน้อยเกินไปและคอนกรีตไม่ได้รับการบ่มอย่างทันเวลา ผิวหน้าคอนกรีตก็จะมีโอกาสเกิดการแตกร้าวลักษณะนี้ได้ง่ายกว่า



รูปที่ 12-16 ลักษณะรอยแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวในขณะกำลังก่อตัว (Plastic Shrinkage Crack)

- 3.2 มีผลกระทบต่อการเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการทรุดตัวในขณะกำลังก่อตัว (Plastic Settlement Crack) ของคอนกรีต : การแตกร้าวชนิดนี้ มีสาเหตุมาจากคอนกรีตในสภาวะพลาสติก (โดยทั่วไปจะเกิดในช่วง 10 นาที ถึง 3 ชั่วโมง) เกิดการทรุดตัวที่แตกต่างกันในเนื้อคอนกรีตเนื่องมาจากมีเหล็กเสริมกีดขวางหรือมีสิ่งกีดขวางอยู่ในคอนกรีตกีดขวาง หรือชิ้นส่วนโครงสร้างมีความหนาไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการยึดรั้ง (Restraint) ขึ้นที่บริเวณผิวด้านบนหรือด้านข้างของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีต และเกิดหน่วยแรงดึงขึ้น และถ้าหน่วยแรงดึงนี้เกิดขึ้นสูงกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต ผิวคอนกรีตจะเกิดการแตกร้าวขึ้นได้ โดยมักเกิดการแตกร้าวกับชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีความหนามากหรือมีความสูง เช่น รอยแตกร้าวตามแนวเหล็กเสริมกันรั้วที่ผิวด้านบนของฐานราก, และรอยแตกร้าวที่ผิวด้านข้างตามแนวเหล็กปลอกของเสา เป็นต้น ถ้าคอนกรีตเกิดการเยิ้มขึ้นมาก ก็จะมีแนวโน้มทำให้เนื้อคอนกรีตเกิดการทรุดตัวที่แตกต่างกันมาก และเกิดการแตกร้าวชนิดนี้ได้มากกว่าด้วย



รูปที่ 12-17 ลักษณะรอยแตกร้าวเนื่องจากการทรุดตัวในขณะกำลังก่อตัว (Plastic Settlement Crack)

● ปัจจัยที่มีผลและวิธีการลดการเยิ้ม

1. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต

- 1.1 ปูนซีเมนต์ : การใช้น้ำซีเมนต์ที่มีความละเอียดสูงกว่า จะเกิดการเยิ้มน้อยกว่าทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดสูงกว่าจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้เร็วกว่า และอัตราการตกตะกอนของอนุภาคปูนซีเมนต์ในคอนกรีตสดจะช้ากว่า คุณสมบัติอื่น ๆ ของปูนซีเมนต์ที่ส่งผลกระทบต่อการเยิ้ม เช่น ปูนซีเมนต์ที่เป็นต่างมากกว่า หรือมีองค์ประกอบของ C_3A มากกว่า มีแนวโน้มจะเกิดการเยิ้มน้อยกว่า เพราะทำให้คอนกรีตสูญเสียค่ายุบตัว (Slump Loss) เร็วกว่า



1.2 มวลรวม : การใช้มวลรวมละเอียดหรือทรายที่มีความละเอียดมากกว่า โดยเฉพาะอนุภาคมวลรวมละเอียดที่มีขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน (ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 100) จะช่วยลดปริมาณการเยิ้มได้ แต่วัสดุที่ละเอียดมากนี้ต้องเป็นฝุ่นของมวลรวมละเอียดหรือฝุ่นทราย ไม่ใช่ดิน

1.3 สารผสมเพิ่ม : การใช้แร่ผสมเพิ่ม เช่น ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) ซึ่งมีความละเอียดสูงมาก จะช่วยลดการเยิ้มได้ หรือใช้สารเคมีผสมเพิ่ม เช่น สารกระจายกักฟองอากาศ หรือสารเร่งการก่อตัว ก็จะช่วยลดการเยิ้มได้เช่นกัน

2. ส่วนผสมคอนกรีต

2.1 ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต : ปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีตเป็นปัจจัยสำคัญของการเยิ้มของคอนกรีตสด ถ้ามีน้ำในส่วนผสมน้อยกว่า มีแนวโน้มจะเกิดการเยิ้มน้อยกว่า

2.2 ปริมาณส่วนละเอียด : การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์หรือใช้ทรายในส่วนผสมคอนกรีตปริมาณมากกว่า มีแนวโน้มจะเกิดการเยิ้มน้อยกว่า

3. เวลาการก่อตัวของคอนกรีต : การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเร็วขึ้นหรือมีเวลาการก่อตัวเร็วขึ้น จะช่วยลดปริมาณการเยิ้มได้

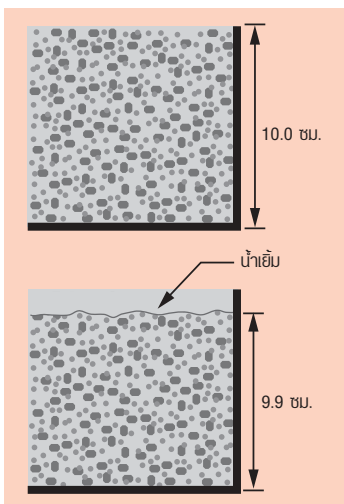
4. สภาพแวดล้อม : อุณหภูมิอากาศในช่วงปกติที่สูงกว่า จะทำให้คอนกรีตมีอัตราการเยิ้มเร็วขึ้น แต่ปริมาณการเยิ้มที่เกิดขึ้นรวมทั้งหมดอาจไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิอากาศที่ต่ำมาก อาจเพิ่มปริมาณการเยิ้มได้ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าคอนกรีตก่อตัวช้ากว่าปกติ จึงมีช่วงเวลาในการเยิมนานขึ้น

● การทดสอบการเยิ้ม

การหาค่าการเยิ้มสามารถแสดงออกมาเป็นปริมาณซึ่งได้จากอัตราส่วนค่ายุบตัวลง

ต่อหน่วยความสูงของคอนกรีตดังแสดงใน **รูปที่ 12-18**

การทดสอบการเยิ้ม นิยมทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 232

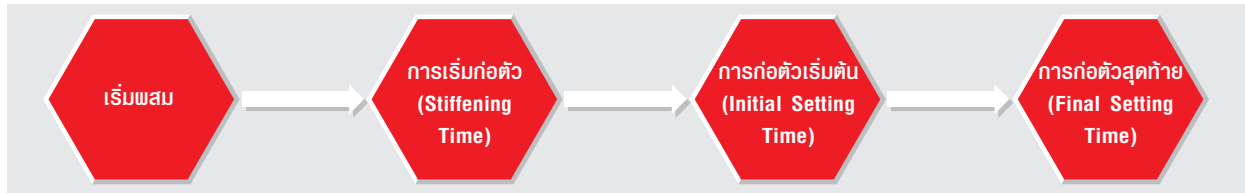


รูปที่ 12-18 การหาค่าการเยิ้มของคอนกรีตสด

12.6 เวลาการก่อตัว

การก่อตัว (Setting) และการแข็งตัว (Hardening) เป็นปรากฏการณ์หนึ่งของซีเมนต์เพสต์ที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้เกิดการเติมเต็มช่องว่างภายในด้วยผลผลิตจากปฏิกิริยา ดังนั้นการก่อตัวของคอนกรีตจึงถือเป็นลักษณะทางกายภาพที่แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตและเป็นกระบวนการเริ่มแข็งตัวของคอนกรีตสด

เวลาการก่อตัวมีความสำคัญมากต่อการทำงานคอนกรีต โดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเวลาการเทคอนกรีต การก่อตัวแบ่งได้เป็น 3 ระยะ ดัง **รูปที่ 12-19**



รูปที่ 12-19 ขั้นตอนการก่อตัวของคอนกรีต

ระยะที่ 1 : เวลาการเริ่มก่อตัว (Stiffening Time)

คือ เวลาที่มอร์ตาร์สามารถรับแรงเสียดทานจากเครื่องทดสอบได้ 5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (หรือ 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ณ เวลานั้นคอนกรีตเริ่มแข็งกระด้างหรือเริ่มจับตัวกันแล้ว

ระยะที่ 2 : เวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time)

คือ เวลาที่มอร์ตาร์สามารถรับแรงเสียดทานจากเครื่องทดสอบได้ 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (หรือ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ณ เวลานั้นคอนกรีตเริ่มแข็งตัวแล้ว และเป็นเวลาโดยประมาณในการสิ้นสุดการเทและการอัดแน่นคอนกรีต ถ้าเทคอนกรีตสดชั้นใหม่ทับลงไปอีกจะก่อให้เกิด Cold Joint

ระยะที่ 3 : เวลาการก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time)

คือ เวลาที่มอร์ตาร์สามารถรับแรงเสียดทานจากเครื่องทดสอบได้ 276 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (หรือ 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ณ เวลานั้นคอนกรีตแข็งตัวสมบูรณ์แล้ว และเริ่มมีการพัฒนากำลังอย่างชัดเจน

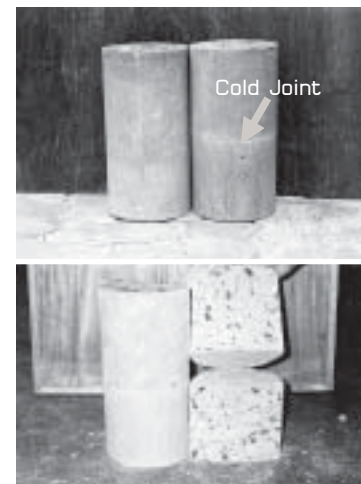
ค่าแรงเสียดทานดังกล่าวนี้ เป็นค่าที่กำหนดขึ้นโดยการทดสอบเวลาการก่อตัวของคอนกรีตด้วยวิธีการหาความต้านทานต่อการกด (Penetration Resistance) ของมอร์ตาร์ที่ได้จากการร่อนส่วนผสมคอนกรีตผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐาน ตามมาตรฐาน ASTM C 403

ค่าความสามารถรับแรงเสียดทานของมอร์ตาร์ไม่ได้แสดงถึงค่ากำลังอัดของคอนกรีต ทั้งนี้เพราะที่เวลาการก่อตัวเริ่มต้นหรือค่าแรงเสียดทานของมอร์ตาร์ 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตยังไม่มีค่ากำลังอัดเลย และที่เวลาการก่อตัวสุดท้ายหรือค่าแรงเสียดทานของมอร์ตาร์ 276 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตมีกำลังอัดเพียง 7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

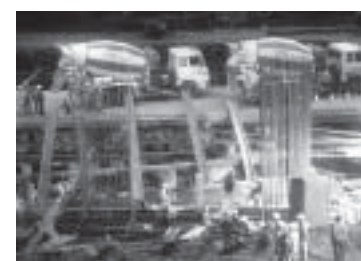
เวลาการก่อตัวของคอนกรีตไม่เหมือนกับเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ แต่มีส่วนคล้ายกับเวลาการก่อตัวของมอร์ตาร์ ดังนั้นการหาเวลาการก่อตัวของคอนกรีต จึงทำได้โดยการหาเวลาการก่อตัวของมอร์ตาร์

การทำงานเทคอนกรีตจะต้องให้เสร็จสิ้นก่อนเวลาการเริ่มก่อตัว (Stiffening Time) เพราะถ้าหากช้ากว่านี้ คอนกรีตจะเริ่มจับตัวกันแล้ว

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาสารผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว ซึ่งโดยทั่วไปจะช่วยยืดเวลาการเริ่มก่อตัว ตั้งแต่ 2 - 8 ชั่วโมง หรืออาจนานกว่านี้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารในส่วนผสมคอนกรีต จึงช่วยเพิ่มระยะเวลาการเทคอนกรีตได้นานขึ้น อีกทั้งในอุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จ ยังช่วยให้สามารถขนส่งคอนกรีตจากโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จไปยังหน่วยงานก่อสร้างในระยะไกลขึ้นหรือมีระยะเวลาการขนส่งนาน ๆ ได้อีกด้วย



รูปที่ 12-20 ตัวอย่างการเกิด Cold Joint ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 12-21 งานเทคอนกรีตสำหรับโครงสร้างฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลานาน จำเป็นต้องใช้คอนกรีตที่ได้รับการออกแบบให้มีความหน่วงการก่อตัวนานเพียงพอ เพื่อไม่ให้เกิด Cold Joint ระหว่างชั้นคอนกรีตที่เทก่อนกับชั้นที่เททับ



การทราบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต จะช่วยให้สามารถวางแผนการทำงานคอนกรีต ได้แก่ การผสม, การลำเลียงหรือการขนส่ง, การเทและการอัดแน่น, การแต่งผิวหน้า, การบ่มและการถอดแบบหล่อคอนกรีต ได้อย่างเหมาะสม

● ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการก่อตัว

เวลาการก่อตัวของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ ประการที่สำคัญ ซึ่งส่งผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เฟสในคอนกรีต คือ



รูปที่ 12-22 คอนกรีตไม่แข็งตัวหรือมีเนื้อเยื่อ มีสาเหตุมาจากการใช้สารหน่วงการก่อตัวมากเกินไป

1. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต

1.1 ปูนซีเมนต์ : ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ C_3A , C_3S , และ C_2S โดยปูนซีเมนต์ที่มีค่า C_3A และ C_3S ต่ำกว่า และมี C_2S สูงกว่า จะทำให้คอนกรีตมีการก่อตัวนานกว่า

1.2 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มประเภทหน่วงการก่อตัว จะทำให้คอนกรีตมีการก่อตัวนานขึ้น

2. อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C Ratio) : ค่า W/C สูง คอนกรีตมีการก่อตัวนานกว่า

3. สภาพแวดล้อม

3.1 อุณหภูมิของอากาศ : อุณหภูมิอากาศที่ต่ำกว่า คอนกรีตจะมีการก่อตัวนานกว่า

3.2 ความชื้นสัมพัทธ์ : ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่า คอนกรีตจะมีการก่อตัวนานกว่า

4. ความหนาบางของโครงสร้างคอนกรีต : โครงสร้างที่หนากว่าคอนกรีตจะมีการก่อตัวนานกว่า

ในบางกรณีอาจมีปัญหาด้านการก่อตัวผิดปกติของคอนกรีต ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การก่อตัวผิดปกติ (False Set) คือ หลังจากผสมระยะหนึ่ง คอนกรีตจะแข็งตัวชั่วคราว แต่พอผสมต่อไป ก็จะเหลวเหมือนคอนกรีตปกติ สาเหตุเกิดจากโมเลกุลของน้ำในยิปซัมถูกดึงออกไปในกระบวนการบด ดังนั้นเมื่อเริ่มผสมยิปซัมนี้จะดึงน้ำบางส่วนเพื่อคืนตัวเป็นยิปซัมอย่างเดิม โดยเริ่มจับเป็นกลุ่มแล้วค่อย ๆ กระจายตัวออก จึงทำให้เกิดการแข็งตัวชั่วคราวหนึ่ง
2. การก่อตัวเร็ว (Flash Set) ลักษณะการก่อตัวจะเกิดขึ้นเร็วมากและไม่คืนกลับสู่สภาพเหลวอีก กรณีเช่นนี้จะเกิดเมื่อมีส่วนผสมของ Calcium Aluminate หรือ Monosulfo Aluminate มากเกินไป

● การทดสอบเวลาการก่อตัว

นิยมทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 403

12.7 หน่วยน้ำหนัก

หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) คือ คำนวณน้ำหนักของคอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยรวมปริมาณอากาศด้วย มีประโยชน์สำหรับการคำนวณเปลี่ยนค่าจากปริมาตรให้เป็น คำนวณน้ำหนักหรือจากค่าน้ำหนักให้เป็นปริมาตรเพื่อคำนวณหาค่าน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีต

● ประเภทของคอนกรีตตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

คอนกรีตทั่วไป (Normal Weight Concrete)

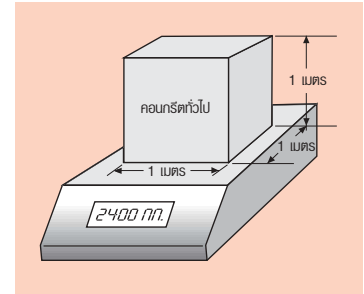
คือ คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักประมาณ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (หรือ อยู่ในช่วง 2,200 - 2,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป เช่น บ้าน, อาคาร, และถนน เป็นต้น

คอนกรีตเบา (Lightweight Concrete)

คือ คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 300 ถึง 1,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นิยมนำไปใช้ในการก่อสร้างตั้งแต่ทำเป็นฉนวนกันความร้อนถึงใช้เป็นชิ้นส่วนของโครงสร้าง โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดน้ำหนักของอาคาร

คอนกรีตหนัก (Heavyweight Concrete)

คือ คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักมากกว่า 3,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยทั่วไป นิยมใช้สำหรับงานโครงสร้างป้องกันรังสีหรือกัมมันตภาพรังสี



รูปที่ 12-23 คอนกรีตโดยทั่วไป มี หน่วยน้ำหนักประมาณ 2,400 กิโลกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร

● ปัจจัยที่มีผลต่อหน่วยน้ำหนัก

1. ปริมาณอากาศในคอนกรีต

ปริมาณช่องว่างของน้ำที่ถูกกักอยู่ได้มวลรวมหรือเหล็กเสริม (Entrapped Air) และปริมาณฟองอากาศที่ถูกกักกระจาย (Entrained Air) ในคอนกรีตที่มากกว่า จะทำให้คอนกรีตมีหน่วยน้ำหนักน้อยกว่า

2. ชนิดและสัดส่วนของมวลรวมในส่วนผสมคอนกรีต

มวลรวมปกติที่ใช้สำหรับทำคอนกรีตโดยทั่วไป มีหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1,100 - 1,750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, มวลรวมเบา (Lightweight Aggregate) ที่ใช้สำหรับการผลิตคอนกรีตเบา มีหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 60 - 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, ส่วนมวลรวมหนัก (Heavyweight Aggregate) ที่ใช้สำหรับการผลิตคอนกรีตหนัก มีหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 2,100 - 6,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นชนิดและสัดส่วนของมวลรวมในส่วนผสมคอนกรีต จึงเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

3. อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

ถ้าคอนกรีตมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่า คอนกรีตจะมีเนื้อแน่นกว่า และมีหน่วยน้ำหนักสูงขึ้นตามไปด้วย

● การทดสอบหน่วยน้ำหนัก

นิยมทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 138



12.8 ปริมาณอากาศ

ปริมาณอากาศ (Air Content) คือ สัดส่วนของปริมาตรอากาศที่มีอยู่ภายในคอนกรีตต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีตนั้น

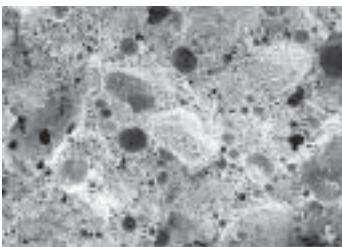
งานก่อสร้างบางประเภท เช่น งานก่อสร้างพื้นห้องเย็น มีข้อกำหนดให้ใช้คอนกรีตที่มีปริมาณอากาศ 3 - 5% จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทดสอบว่าปริมาณอากาศในคอนกรีตเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่ ทั้งนี้เพราะในการใช้งานห้องเย็น ที่จุดเยือกแข็ง (Freezing) น้ำในโพรงคาปิลลารี (Capillary Pores) ในคอนกรีตจะเริ่มเปลี่ยนเป็นน้ำแข็ง ซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้น จึงเกิดการขยายตัวจนเต็ม แล้วน้ำส่วนเกินจะถูกผลักดันไปยังโพรงอากาศ (Air Voids) ผ่านทางเนื้อซีเมนต์เฟส ความดันที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการไหลของน้ำจากโพรงคาปิลลารีไปยังโพรงอากาศ ถ้าความดันมีค่ามาก อาจส่งผลทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ การใส่สารกระจายกักฟองอากาศจะเป็นการเพิ่มโพรงอากาศให้กระจายอยู่ทั่วเนื้อคอนกรีตและมีปริมาณมากเพียงพอ ทำให้น้ำจากโพรงคาปิลลารีสามารถไหลไปยังโพรงอากาศได้สะดวกขึ้น ดังนั้นความดันภายในคอนกรีตจึงลดลง ขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นน้ำในโพรงอากาศจะละลาย (Thawing) และไหลกลับเข้าสู่เนื้อซีเมนต์เฟส ทำให้คอนกรีตสามารถคงทนอยู่ในสภาวะที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งได้อย่างต่อเนื่อง

ปริมาณอากาศในคอนกรีตถ้ามีน้อยกว่าข้อกำหนด จะไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ด้านความคงทน แต่ถ้ามีมากเกินไป จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลง

● ประเภทและผลกระทบของโพรงอากาศ (Air Voids) ในคอนกรีต

1. โพรงอากาศของน้ำที่ถูกกักไว้ (Entrapped Air Voids)

โพรงอากาศชนิดนี้จะมีขนาดใหญ่ (อาจมีขนาดใหญ่ถึง 3 มิลลิเมตร) โดยเฉพาะโพรงอากาศที่อยู่ใต้มวลรวมหยาบและเหล็กเสริม โดยจะเกิดมากในบริเวณที่ทำการจี้เขย่าคอนกรีตไม่ดีเพียงพอ ทำให้ภายหลังการจี้เขย่ายังคงเหลือน้ำและฟองอากาศส่วนหนึ่งถูกกักอยู่ใต้เม็ดหินหรือกรวดหรือเหล็กเสริม หรือเกิดจากมีน้ำส่วนเกินในส่วนผสมมากเกินไป เมื่อคอนกรีตแข็งตัวและน้ำระเหยออกไปแล้ว ก็จะเป็นโพรงอากาศขึ้นในเนื้อคอนกรีต ทำให้ความตึงน้ำ ความแข็งแรง และความคงทนของคอนกรีตลดลง



รูปที่ 12-24 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของฟองอากาศที่ถูกกักกระจายอยู่ในเนื้อคอนกรีต

2. ฟองอากาศที่ถูกกักกระจาย (Entrained Air Voids)

ฟองอากาศชนิดนี้เกิดจากการใส่สารกระจายกักฟองอากาศในส่วนผสมคอนกรีต ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบนผิวอนุภาคที่มักจะรวมกันอยู่ระหว่างผิวหน้าและอากาศทำให้แรงตึงผิวลดลง ก่อให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 50 - 200 ไมครอน กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอและคงตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีต ฟองอากาศที่ถูกกักกระจายและมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นนี้ จะช่วยเพิ่มความคงทนให้แก่คอนกรีตในงานห้องเย็น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสามารถเทได้ ลดการแยกตัว แต่จะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง

● ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณอากาศ

1. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต
2. ส่วนผสมคอนกรีต
3. การจี้เขย่าคอนกรีต

การลดช่องว่างนี้ทำได้โดยการเลือกใช้มวลรวมที่มีส่วนคละดี ออกแบบคอนกรีตให้มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อน้ำซีเมนต์ที่ต่ำ เลือกใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่มีประสิทธิภาพ คอนกรีตมีความเหลวพอที่จะจี้เขย่าเข้าแบบได้ง่าย และที่สำคัญที่สุด คือ ต้องมีการจี้เขย่าคอนกรีตอย่างถูกต้องและเพียงพอ

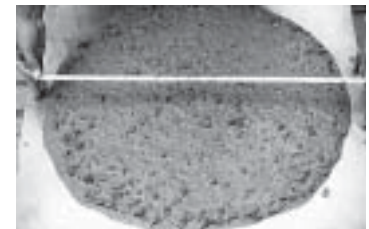
● การทดสอบปริมาณอากาศ

นิยมทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 231

12.9 คุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ดี

คอนกรีตสดที่ดี ควรมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังใน ตารางที่ 12-6

คุณสมบัติ	คำอธิบาย
1. การผสม	• ผสมได้เพียงพอจนมีเนื้อสม่ำเสมอทั่วทุกส่วน
2. ความสามารถเทได้	• เมื่อลำเลียงหรือจัดส่งคอนกรีตสดถึงจุดเท คอนกรีตยังคงมีความสามารถเทได้เหมาะสมกับการใช้งาน สามารถไหลเข้าแบบหล่อทุกซอกทุกมุมอย่างสมบูรณ์ ด้วยวิธีการเทและการอัดแน่นหรือการจี้เขย่าที่ถูกต้องวิธี
3. ความต้านทานต่อการแยกตัว	• มีความต้านทานต่อการแยกตัวสูง ไม่เกิดการแยกตัวในระหว่างการลำเลียงและในขณะเทคอนกรีต • สำหรับคอนกรีตที่ก่อด้วยปั๊มคอนกรีตควรมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ต้องไม่แยกตัวเมื่อถูกแรงอัดจากปั๊ม และไหลในท่อได้สะดวก
4. ไม่เกิดการเยิ้มมากเกินไป	• ไม่เกิดการเยิ้มมากเกินไป จนทำให้การแต่งผิวหน้าไม่สะดวก และมีผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว
5. เวลาการก่อตัว	• มีเวลาในการก่อตัวนานพอที่จะสามารถทำงานได้ทัน
6. อุณหภูมิ	• มีอุณหภูมิพอเหมาะไม่สูงเกินไป จนมีผลกระทบต่อความสามารถเทได้ และเวลาการก่อตัว
7. ฟองอากาศ	• มีปริมาณฟองอากาศพอเหมาะ ซึ่งมีผลต่อความสามารถเทได้
8. คุณสมบัติอื่นๆ ตามลักษณะการใช้งาน	• สำหรับคอนกรีตที่ใช้ฐานรากขนาดใหญ่ ควรมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ มีค่ายุบตัวสูง, มีการสูญเสียค่ายุบตัวช้า, และใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำ เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน



รูปที่ 12-25 คอนกรีตสดที่ดี จะต้อง มีเนื้อสม่ำเสมอเหมือนกันทุกส่วน มี ความสามารถเทได้ดี โดยไม่เกิดการแยกตัวขึ้น และไม่เกิดการเยิ้มมากเกินไป และมีเวลา การก่อตัวนานพอที่จะ สามารถทำงานได้ทัน

ตารางที่ 12-6 คุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ดี



12.10 การทดสอบคอนกรีต

การทดสอบคอนกรีตมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่าส่วนผสมคอนกรีตที่ได้รับการออกแบบไว้นั้น มีคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ค่ายุบตัว, เวลาการก่อตัว, ปริมาณอากาศ ตามที่ต้องการหรือไม่ การทดสอบแต่ละอย่างที่จะกล่าวต่อไปนี้ ผู้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะเลือกทดสอบเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานเท่านั้น

12.10.1 การเตรียมและการผสมคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 192

Standard Practice for

Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

● ขอบข่าย

ส่วนหนึ่งของข้อปฏิบัตินี้ครอบคลุมวิธีการผสมคอนกรีตในห้องปฏิบัติการภายใต้การควบคุมวัสดุที่ถูกต้อง

● ความสำคัญและการใช้งาน

1. เพื่อใช้เป็นข้อปฏิบัติมาตรฐานในการจัดเตรียมวัสดุและการผสมคอนกรีตภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการ
2. ใช้คอนกรีตสดที่ได้มาในการพัฒนาข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ได้แก่ ส่วนผสมคอนกรีตสำหรับโครงการก่อสร้าง, การประเมินผลส่วนผสมและวัสดุที่แตกต่างกัน, ความสัมพันธ์กับการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Tests), และการจัดเตรียมตัวอย่างเพื่อวัตถุประสงค์ในการวิจัยและพัฒนา



ก) เครื่องผสมแบบลูกช้าง

● เครื่องผสม

โดยทั่วไปเครื่องผสมที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมี 2 ลักษณะ คือ

1. เครื่องผสมแบบลูกช้าง (Revolving Drum, Tilting Mixer)
2. เครื่องผสมแบบกระทะ (Pan Mixer)



ข) เครื่องผสมแบบกระทะ

รูปที่ 12-26 ลักษณะเครื่องผสมคอนกรีตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

● วิธีการเตรียมวัสดุผสมคอนกรีต

หลังจากออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว นำส่วนผสมที่ได้มาทำการชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์, มวลรวมทราย, มวลรวมละเอียด, สารผสมเพิ่มชนิดผง, และวัดปริมาณน้ำและน้ำยา ตามส่วนผสมคอนกรีต โดยต้องคำนวณปรับน้ำหนักของมวลรวมตามค่าความชื้นในสภาพที่เป็นจริง เสร็จแล้วนำวัสดุดังกล่าวใส่เครื่องผสม

● วิธีการผสมคอนกรีต

ก่อนที่จะผสมคอนกรีตใช้จริง ควรผสมมอร์ตาร์เคลือบผิวภายในเครื่องผสมก่อน เพื่อลดการสูญเสียมอร์ตาร์ที่ติดอยู่ที่ผิวภายในเครื่องผสมภายหลังการเทคอนกรีตสดที่ผสมเสร็จแล้วออกมาจากเครื่องผสม

ลำดับก่อนหลังในการใส่วัสดุลงในเครื่องผสมมีความสำคัญเช่นกัน เพื่อให้ได้ส่วนผสมคอนกรีตที่ผสมอย่างถูกต้องและมีเนื้อสม่ำเสมอ โดยจะใส่มวลรวมทราย, มวลรวมละเอียด, ปูนซีเมนต์, และน้ำ ตามลำดับ ถ้ามีการใช้น้ำยาผสมคอนกรีต จะผสมน้ำยากับน้ำก่อนแล้วจึงเทใส่ในเครื่องผสม

วิธีการผสมคอนกรีตด้วยเครื่องผสมตามมาตรฐาน มีดังนี้

1. วิธีการเตรียมและการใส่สารผสมเพิ่มในเครื่องผสม กรณีสารผสมเพิ่มชนิดผงที่ไม่ละลายน้ำและใช้ปริมาณน้อยไม่เกิน 10% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ควรนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ก่อนใส่ในเครื่องผสม แต่ถ้าใช้ปริมาณเกิน 10% เช่น แร่ผสมเพิ่มประเภทสารปอซโซลาน ควรใส่ในเครื่องผสมในลักษณะคล้ายกับการใส่ปูนซีเมนต์ กรณีสารผสมเพิ่มชนิดผงที่ละลายน้ำได้หรือน้ำยาผสมคอนกรีต ควรนำมาผสมกับน้ำก่อนใส่ในเครื่องผสม
2. ใส่มวลรวมทราย ตามด้วยบางส่วนของน้ำซึ่งได้ผสมกับน้ำยาผสมคอนกรีตแล้ว
3. เปิดเครื่องผสมให้ทำงาน แล้วใส่มวลรวมละเอียด ปูนซีเมนต์ และน้ำซึ่งได้ผสมน้ำยาผสมคอนกรีตแล้ว ตามลำดับ แต่ถ้าไม่สามารถใส่วัสดุในขณะที่เครื่องผสมยังเปิดอยู่ได้ ก็ให้เปิดเครื่องผสมที่ใส่มวลรวมทรายและน้ำพร้อมน้ำยาบางส่วนแล้ว ให้หมุนสัก 2 - 3 รอบก่อน ปิดเครื่อง แล้วจึงค่อยใส่วัสดุที่เหลือ นอกจากนี้ในทางปฏิบัติ อาจสลับลำดับของการใส่มวลรวมละเอียดกับปูนซีเมนต์เพื่อลดปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการผสมคอนกรีต
4. ภายหลังจากการใส่วัสดุชนิดต่าง ๆ ครบแล้ว ให้ผสมส่วนผสมทั้งหมดเป็นเวลา 3 นาที
5. หยุดเครื่องผสม 3 นาที ปิดฝาเครื่องผสม เพื่อไม่ให้น้ำระเหยออก
6. ผสมต่ออีก 2 นาที แล้วเทใส่รถเข็นเพื่อนำไปทดสอบต่อไป



รูปที่ 12-27 การเทน้ำซึ่งได้ผสมกับน้ำยาก่อนแล้วลงในเครื่องผสมซึ่งได้ใส่หินทราย และปูนซีเมนต์ก่อนแล้ว

12.10.2 การวัดอุณหภูมิ

วัดอุณหภูมิอากาศ และวัดอุณหภูมิของคอนกรีต บันทึกเป็นข้อมูลไว้ใช้ในการวิเคราะห์ ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น ความสามารถเทได้, และเวลาการก่อตัวเป็นต้น



รูปที่ 12-28 การวัดอุณหภูมิของคอนกรีต เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ร่วมกับคุณสมบัติอื่น ๆ ของคอนกรีต

12.10.3 การทดสอบค่ายุบตัว

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 143

Standard Test Method for

Slump of Hydraulic Cement Concrete



● ขอบข่าย

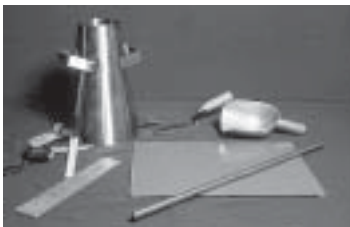
วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการหาค่ายุบตัวของคอนกรีตทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม

● สรุปวิธีการทดสอบ

เทและอัดแน่นตัวอย่างคอนกรีตสดในแบบรูปโคนหรือรูปกรวยตัดด้วยเหล็กตัดแบบโคนขึ้น คอนกรีตจะยุบตัวลง วัดระยะทางของศูนย์กลางของผิวบนของคอนกรีตระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดที่เคลื่อนที่ไป และรายงานเป็นค่ายุบตัวของคอนกรีต

● ความสำคัญและการใช้งาน

1. เพื่อให้ผู้ใช้งานได้ใช้เป็นวิธีการทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสด
2. วิธีการทดสอบนี้สามารถใช้ได้กับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบขนาดโตสุดไม่เกิน 1 1/2 นิ้ว (3.75 เซนติเมตร) แต่ถ้าเกินค่านี้ ให้ร่อนเอาส่วนที่ใหญ่กว่าออกก่อนตามวิธีการตามมาตรฐาน ASTM C 172
3. วิธีการทดสอบนี้ไม่เหมาะสำหรับคอนกรีตประเภท Non-plastic และ Non-cohesive กล่าวคือ คอนกรีตที่มีค่ายุบตัวน้อยกว่า 1.5 เซนติเมตร (1/2 นิ้ว) อาจจะไม่มีความสมบัติเป็นพลาสติกเพียงพอ และคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวมากกว่า 23.0 เซนติเมตร (9 นิ้ว) อาจไม่มีความสมบัติการยึดเกาะที่ดีเพียงพอสำหรับวิธีการทดสอบนี้ ดังนั้นจึงควรระมัดระวังในการแปลความหมายผลการทดสอบด้วย



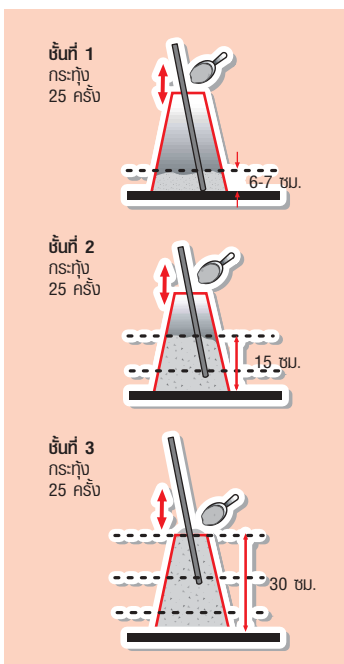
รูปที่ 12-29 อุปกรณ์ทดสอบค่ายุบตัว

● อุปกรณ์

1. แบบรูปโคนหรือรูปกรวยตัด เส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน 10 เซนติเมตร และด้านล่าง 20 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร มีหูจับและแผ่นเหล็กยื่นออกมาสำหรับใช้เท้าเหยียบทั้งสองข้าง
2. เหล็กตัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร ปลายกลมมน
3. แผ่นเหล็กสำหรับรองมีลักษณะเรียบเป็นระนาบ
4. ช้อนตัก, เกรียงเหล็ก, และดัลล์เมตรหรือไม้บรรทัด

● วิธีการทดสอบ

1. นำอุปกรณ์จุ่มน้ำให้เปียก
2. วางแผ่นเหล็กลงกับพื้นราบ นำแบบรูปโคนขึ้นวาง ใช้เท้าเหยียบปลายทั้งสองข้างไว้
3. ใช้ช้อนตักคอนกรีตสดใส่ลงในแบบรูปโคน โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นให้มีปริมาตรเท่า ๆ กัน ชั้นที่ 1 ใส่คอนกรีตในแบบสูงประมาณ 6 - 7 เซนติเมตร กระทุ้งด้วยเหล็กตัด 25 ครั้ง ให้ทั่วพื้นที่ใส่คอนกรีตชั้นที่ 2 จนได้ส่วนสูงประมาณ 15 เซนติเมตร กระทุ้งให้ทะลุถึงคอนกรีตชั้นที่ 1 เล็กน้อย ใส่คอนกรีตชั้นที่ 3



รูปที่ 12-30 ปริมาณคอนกรีตที่ใส่ในแบบรูปโคนและการตัก

ให้พื้นขอบจนเต็มแล้วกระทุ้งให้ทะลุคอนกรีตชั้นที่ 2 เล็กน้อย ปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ รวมทั้งทำความสะอาดบริเวณแบบและแผ่นเหล็กทรง

4. ดึงแบบรูปโคนขึ้นตรง ๆ โดยไม่หมุนหรือเอียง
5. วางแบบรูปโคนลงข้าง ๆ คอนกรีต แล้ววัดค่ายุบตัวของคอนกรีต

ค่ายุบตัว (Slump) คือ ค่าที่คอนกรีตยุบตัวลงจากเดิม โดยวัดที่จุดกึ่งกลางของคอนกรีตที่ยุบตัว ในการวัดให้วัดละเอียดถึง 0.5 เซนติเมตร

● รูปแบบของการยุบตัว

รูปแบบของการยุบตัวของคอนกรีตโดยทั่วไปมี 3 รูปแบบ คือ

1. การยุบตัวแบบถูกต้อง (True Slump) เป็นการยุบตัวของคอนกรีตภายใต้น้ำหนักของคอนกรีตเอง
2. การยุบตัวแบบเฉือน (Shear Slump) เป็นการยุบตัวแบบเฉือนซึ่งเป็นการยุบตัวที่เกิดจากการเลื่อนไถลของคอนกรีตส่วนบนในลักษณะเฉือนลงไปตามข้าง
3. การยุบตัวแบบล้ม (Collapse Slump) เป็นการยุบตัวที่เกิดจากคอนกรีตมีความเหลวมาก

ถ้าหากคอนกรีตมีการยุบตัวแบบเฉือน หรือแยกตัวเพราะเหลวมากเกินไป ให้ทำการทดสอบใหม่โดยใช้คอนกรีตที่ยังไม่ได้ใช้ในการทดสอบถ้าหากทำการทดสอบอย่างถูกวิธีทั้งสองครั้งติดต่อกันแล้ว คอนกรีตยังมีการยุบตัวแบบเฉือนหรือแยกตัวอยู่ แสดงว่าการทดสอบค่ายุบตัวอาจไม่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตนี้

● ค่าคลาดเคลื่อนของค่ายุบตัว

มาตรฐานทั่วไปกำหนดให้ค่าคลาดเคลื่อนของค่ายุบตัว มีค่า ± 2.5 เซนติเมตร เช่น ถ้าต้องการค่ายุบตัว 7.5 เซนติเมตร ค่าที่ยอมรับได้ คือ 7.5 ± 2.5 เซนติเมตร หรือ 5.0 - 10.0 เซนติเมตร

● ค่ายุบตัวสำหรับงานคอนกรีต

ค่ายุบตัวสำหรับงานคอนกรีตประเภทต่าง ๆ แสดงอยู่ใน ตารางที่ 12-7

12.10.4 การทดสอบการสูญเสียค่ายุบตัว

● วิธีทดสอบ

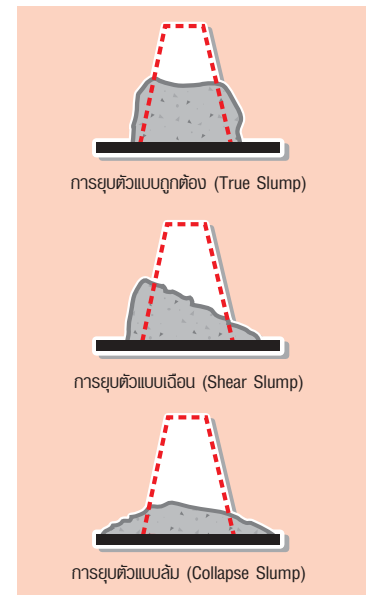
ทดสอบด้วยวิธีการเดียวกับการทดสอบค่ายุบตัว โดยจะทำการทดสอบค่ายุบตัวตามเวลาที่กำหนดนับจากเวลาที่ทดสอบหาค่ายุบตัวครั้งแรก

● ความสำคัญและการใช้งาน

เพื่อดูว่าคอนกรีตมีค่ายุบตัวลดลงตามเวลาอย่างไร



รูปที่ 12-31 การวัดค่ายุบตัว



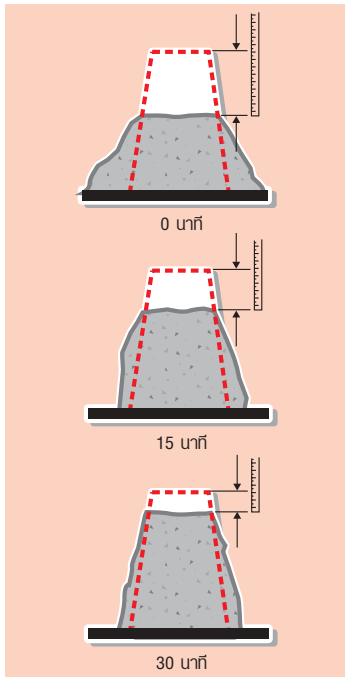
รูปที่ 12-32 รูปแบบของการยุบตัว



รูปที่ 12-33 การเทคอนกรีตงานถนนโดยทั่วไป ใช้คอนกรีตที่มีค่ายุบตัว 7.5 ± 2.5 เซนติเมตร



รูปที่ 12-34 การเทคอนกรีตงานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ คอนกรีตควรมีค่ายุบตัวมากกว่า 15 เซนติเมตร



รูปที่ 12-35 การสูญเสียค่ายุบตัว

ประเภทของงานคอนกรีต	ค่ายุบตัว (เซนติเมตร)
งานพื้นสนามบิน	5.0 ± 2.5
งานคอนกรีตทั่วไป • พื้น และถนน • เสา คาน ผนัง และกำแพง	7.5 ± 2.5 10.0 ± 2.5
งานฐานรากทั่วไป งานคอนกรีตบ่มทั่วไป งานเสาเข็มเจาะขนาดเล็กหรือระบบแห้ง	10.0 ± 2.5
งานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่หรือระบบเปียก งานเทคอนกรีตใต้น้ำ งานฐานรากขนาดใหญ่ งานที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	มากกว่า 15.0

ตารางที่ 12-7 ค่ายุบตัวสำหรับงานคอนกรีตประเภทต่าง ๆ โดยทั่วไป

● เครื่องมือและอุปกรณ์

ใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกันกับการทดสอบค่ายุบตัว

● วิธีการทดสอบ

1. นำคอนกรีตที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว วัดอุณหภูมิ และหาค่ายุบตัวเริ่มต้น
2. เทคอนกรีตกลับใส่เครื่องผสมทิ้งไว้โดยปิดฝาเครื่องผสมเพื่อไม่ให้น้ำระเหยออกมา และควรเปิดเครื่องผสมให้หมุนเป็นระยะ ๆ
3. เมื่อได้ระยะเวลาตามที่กำหนด เทคอนกรีตใส่รถเข็น ทดสอบค่ายุบตัว และบันทึกค่า
4. ทดสอบทุก ๆ 15 นาที หรือตามเวลาที่กำหนด จนคอนกรีตไม่มีค่ายุบตัว หรือเหลือค่ายุบตัวตามที่กำหนด
5. นำผลทดสอบมาหาเวลาที่เหมาะสมในการใช้งานคอนกรีตต่อไป

12.10.5 การทดสอบการเยิ้ม

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 232

Standard Test Methods for

Bleeding of Concrete

● ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการหาปริมาณสัมพัทธ์ของน้ำผสมคอนกรีตที่เยิ้มขึ้นมา จากตัวอย่างคอนกรีตสด

● สรุปวิธีการทดสอบ

ตัดตัวอย่างคอนกรีตใส่ในถังมาตรฐานและใส่ฟองอากาศออกตามวิธีการที่กำหนดปล่อยทิ้งไว้ วัดปริมาณน้ำที่ซึมขึ้นตามเวลาที่กำหนด บันทึกค่า และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การซึมผ่านของคอนกรีต

● ความสำคัญและการใช้งาน

วิธีการทดสอบนี้เป็นวิธีการที่ใช้เพื่อหาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อการซึมของคอนกรีต เช่น ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีตชนิดต่าง ๆ, วิธีการทำงาน, และสภาพแวดล้อม เป็นต้น และยังอาจใช้หาความสัมพันธ์กับข้อกำหนดปริมาณการซึมที่ต้องการอีกด้วย

● เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถังเหล็กรูปทรงกระบอก มีปริมาตรประมาณ 14 ลิตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 25.5 ± 0.5 เซนติเมตร สูง 28.0 ± 0.5 เซนติเมตร และหนา 2.67 - 3.40 มิลลิเมตร
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. กระบอกแก้วที่มีความจุ 100 มิลลิลิตร
4. เหล็กค้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 เซนติเมตร
5. ลูกยาง, เกรียงเหล็ก, ค้อนยาง, และช้อนตัก
6. บีกเกอร์โลหะ (อาจมีหรือไม่ก็ได้)
7. เครื่องชั่งที่สามารถวัดได้ละเอียดถึง 1 กรัม (อาจมีหรือไม่ก็ได้)
8. ตู้อบหรือเตาไฟฟ้า (อาจมีหรือไม่ก็ได้)



รูปที่ 12-36 อุปกรณ์ทดสอบการซึม

● วิธีการทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักถังเปล่า บันทึกค่า
2. ตักคอนกรีตใส่ลงในถัง โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่า ๆ กันโดยประมาณ มีความสูงรวม 25.4 ± 0.3 เซนติเมตร แต่ละชั้นตัก 25 ครั้ง แล้วเคาะด้านข้างภาชนะด้วยค้อนยาง 10 - 15 ครั้งต่อชั้น การตักสองชั้นบน ให้ตักทะลุผ่านชั้นข้างใต้ 2.5 เซนติเมตร (1 นิ้ว) ตามมาตรฐาน ASTM C 138
3. ปรับระดับผิวคอนกรีตด้านบนให้เรียบโดยพยายามใช้เกรียงเหล็กปาดให้น้อยครั้งที่ที่สุด ชั่งน้ำหนักคอนกรีตในถัง บันทึกค่า [S]
4. หลังจากปาดผิวให้เรียบแล้ว เริ่มจับเวลา วัดอุณหภูมิคอนกรีต (ถ้าเป็นไปได้ในระหว่างการทดสอบ ควรควบคุมอุณหภูมิอากาศระหว่าง $18 - 24^{\circ}\text{C}$) และปิดฝาดังด้วยเพื่อป้องกันน้ำระเหยออกมา



5. ใช้ลูกยางดูดน้ำที่เยิ้มขึ้นมาทุก 10 นาที ในช่วง 40 นาทีแรก แล้วหลังจากนั้นดูดน้ำทุก 30 นาที จนกระทั่งไม่มีการเยิ้มอีกต่อไป เพื่อความสะดวกในการดูดน้ำ ให้เอียงถังโดยการสอดท่อไม่ให้หนาประมาณ 5 เซนติเมตรไว้ข้างใต้ถังด้านหนึ่งเป็นเวลา 2 นาที ก่อนที่จะดูดน้ำ ภายหลังดูดน้ำให้จัดถังให้ได้ระดับตามเดิม ระมัดระวังอย่าให้มีการสั่นสะเทือน
6. รวบรวมน้ำไว้ในกระบอกแก้ว แล้วบันทึกค่าปริมาณน้ำเยิ้มในแต่ละเวลา
7. ถ้าต้องการหาเฉพาะปริมาณน้ำเยิ้มโดยไม่รวมวัสดุอื่น ๆ ในส่วนผสมที่ปนมากับน้ำ ให้รินน้ำเยิ้มทั้งหมดในกระบอกแก้วใส่ในบีกเกอร์โลหะอย่างระมัดระวัง แล้วชั่งหาน้ำหนักบีกเกอร์และน้ำเยิ้มทั้งหมด แล้วบันทึกค่า
8. ทำให้แห้งโดยการใช้อุณหภูมิหรือเตาไฟฟ้า จนได้น้ำหนักคงที่ แล้วบันทึกค่า
9. ค่าแตกต่างระหว่างน้ำหนักก่อนและหลังการทำให้แห้ง [D] คือ น้ำหนักของน้ำเยิ้ม

● การคำนวณ

1. การคำนวณค่าปริมาตรการเยิ้มต่อพื้นที่ผิวหน้าคอนกรีต

$$\text{ปริมาตรการเยิ้มต่อพื้นที่ผิวหน้า} = \frac{\text{ปริมาตรน้ำเยิ้ม}}{\text{พื้นที่ผิวหน้าของคอนกรีตในถัง}}$$

2. การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่เยิ้มต่อน้ำที่ใช้ในการผสม

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเยิ้ม} = \frac{WD \times 100}{wS}$$

W = น้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตในเบ้าชั่งการผสม, กิโลกรัม

w = น้ำหนักน้ำผสมคอนกรีตในเบ้าชั่งการผสม (ไม่รวมน้ำที่มวลรวมดูดซึมไว้ภายใน), กิโลกรัม

S = น้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตในถัง, กรัม

D = น้ำหนักของน้ำเยิ้ม, กรัม

12.10.6 การทดสอบเวลาการก่อตัว

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 403

Standard Test Method for

Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance

● ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการหาเวลาการก่อตัวของคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวมากกว่า 210 มิลลิเมตร โดยวิธีการวัดความต้านทานต่อการกด (Penetration Resistance) ของมอร์ตาร์ที่ได้จากการร่อนส่วนผสมคอนกรีตผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐาน

● สรุปวิธีการทดสอบ

เทตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ได้จากการร่อนตัวอย่างคอนกรีตสด ลงในภาชนะและเก็บไว้ในอุณหภูมิอากาศที่กำหนด วัดค่าความต้านทานของมอร์ตาร์ต่อการกดของเข็มมาตรฐาน แล้วพล็อตกราฟระหว่างค่าความต้านทานการกดกับเวลาที่ผ่านไป เพื่อหาค่าเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) และค่าเวลาการก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time)

● ความสำคัญและการใช้งาน

1. เวลาที่มอร์ตาร์มีค่าความต้านทานต่อการกดตามค่าที่กำหนด ได้รับการนิยามให้เป็นค่าเวลาการก่อตัวของคอนกรีต
2. วิธีการทดสอบนี้สามารถใช้หาผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อเวลาการก่อตัวของคอนกรีต เช่น ปริมาณน้ำ, ชนิดและปริมาณของวัสดุประสาน, และชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่ม เป็นต้น และยังอาจใช้หาความสัมพันธ์กับข้อกำหนดเวลาการก่อตัวที่ต้องการอีกด้วย

● เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือหาเวลาการก่อตัวของคอนกรีต
2. ตะแกรงร่อนมาตรฐาน เบอร์ 4
3. เหล็กดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 เซนติเมตร
4. แบบรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 เซนติเมตร
5. ค้อนยาง, ลูกยาง, เกรียงเหล็ก, และเทอร์โมมิเตอร์

● วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างคอนกรีตมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4
2. ใช้เหล็กดำใส่ทั่วพื้นที่ แล้วใช้ค้อนยางตีข้าง ๆ แบบ เพื่อไล่ฟองอากาศออกจากส่วนผสมให้เหลือน้อยที่สุด
3. วัดอุณหภูมิ
4. ปาดผิวหน้าให้เรียบ
5. วางทิ้งไว้ เมื่อมีน้ำลอยขึ้นมาให้ใช้ลูกยางดูดน้ำออก
6. ยกแบบวางบนเครื่องทดสอบที่ใส่หัวกดไว้เรียบร้อยแล้วกดให้หัวจมในเนื้อมอร์ตาร์ 2.5 เซนติเมตร จดค่าน้ำหนักที่ขึ้นบนสเกลของเครื่องทดสอบ เวลาตั้งแต่เริ่มผสมจนถึงเวลากด และขนาดของหัวกดที่ใช้ซึ่งมีให้เลือกตั้งแต่ขนาดพื้นที่ 1, 1/2, 1/4, 1/10, 1/20, และ 1/40 ตารางนิ้ว ในการทดสอบจะเลือกหัวกดให้เหมาะสมกับสภาพมอร์ตาร์สด โดยในช่วงแรกจะใช้หัวกดขนาดใหญ่ก่อน และเมื่อเวลาผ่านไปมอร์ตาร์เริ่มก่อตัวมากขึ้น จะเลือกหัวกดขนาดเล็กลง ในการทดสอบต้องหาแรงต้านทานอย่างน้อย 6 จุด เพื่อนำมาเขียนกราฟ



รูปที่ 12-37 อุปกรณ์ทดสอบเวลาการก่อตัว



รูปที่ 12-38 การทดสอบเวลาการก่อตัว



● การคำนวณ

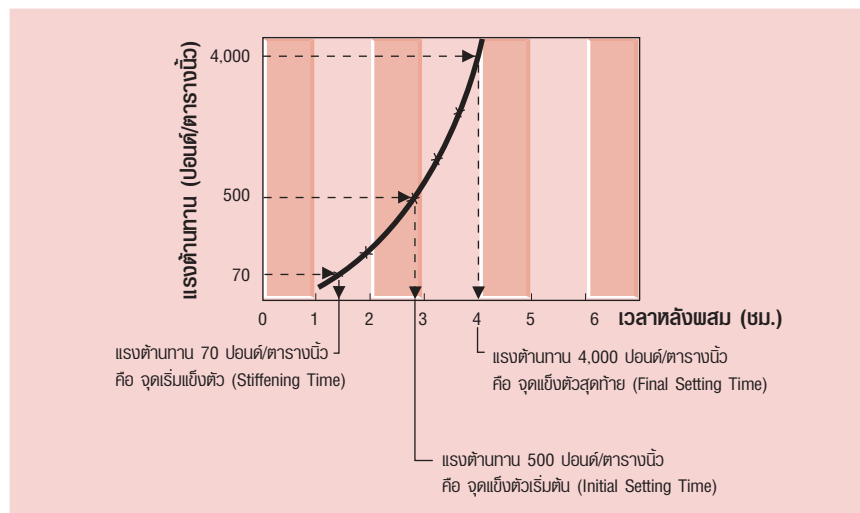
$$\text{แรงต้านทาน} = \frac{\text{น้ำหนักที่อ่านได้จากสเกล}}{\text{พื้นที่หัวกด}}$$

● การเขียนกราฟ

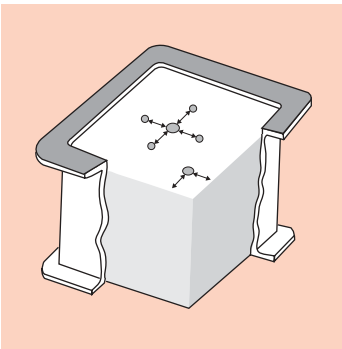
เมื่อได้ค่าแรงต้านทานและเวลาหลังจากผสม นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟ

- แกนนอน คือ เวลาหลังจากผสมคอนกรีต หน่วยเป็นชั่วโมง
- แกนตั้ง คือ ค่าแรงต้านทาน หน่วยเป็น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ลงจุดที่ได้และลากเส้นกราฟ นำกราฟมาหาค่าเวลาการก่อตัวของคอนกรีต



รูปที่ 12-39 กราฟแสดงวิธีการหาเวลาการก่อตัวของคอนกรีต



รูปที่ 12-40 ระยะช่องว่างของการทดสอบเวลาการก่อตัว

● ข้อควรระวัง

1. ในการใช้หัวกดคอนกรีตนี้ ระยะห่างระหว่างช่องที่กดต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 2 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกดที่ใช้ และต้องไม่น้อยกว่าครึ่งนิ้ว
2. จุดที่กด จะต้องห่างจากขอบไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว

12.10.7 การทดสอบหน่วยน้ำหนัก

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 138

Standard Test Method for

Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete

● ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการหาความหนาแน่นของคอนกรีตสด

● ความสำคัญและการใช้งาน

มีประโยชน์สำหรับการคำนวณเปลี่ยนค่าจากปริมาตรให้เป็นค่าน้ำหนักหรือจากค่าน้ำหนักให้เป็นปริมาตร เพื่อคำนวณหาค่าน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีต

● เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถังเหล็กสำหรับใส่คอนกรีต มีปริมาตรอย่างน้อย 6 ลิตร สำหรับกรณีใช้มวลรวมหยาบขนาดโตสุดไม่เกิน 1 นิ้ว
2. เหล็กดัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 เซนติเมตร
3. เครื่องชั่งซึ่งสามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 45 กรัม
4. ช้อนตัก, ค้อนยาง, และแผ่นเหล็กปาดหน้า
5. เครื่องจี้เขย่าภายในชนิดใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ความถี่ในขณะใช้งาน 7,000 รอบต่อนาที หรือมากกว่า หัวจี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.9 - 3.8 เซนติเมตร และยาวไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร



รูปที่ 12-41 อุปกรณ์ทดสอบหน่วยน้ำหนัก

● วิธีการทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักถังเปล่าแล้วบันทึกค่า
2. เติมน้ำให้เต็มถังแล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาตรของถัง โดยคำนวณจากปริมาตรของถัง $[V_c] = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่ชั่งได้}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำ}}$
3. อัดแน่นคอนกรีตโดยวิธีการตัก เมื่อคอนกรีตมีค่ายุบตัวเกิน 7.5 เซนติเมตร, ต่ำหรือจี้เขย่า เมื่อคอนกรีตมีค่ายุบตัว 2.5 - 7.5 เซนติเมตร, และอัดแน่นโดยวิธีการจี้เขย่า เมื่อคอนกรีตมีค่ายุบตัวน้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร
4. กรณีการตัก : ตักคอนกรีตใส่ลงในถัง โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่า ๆ กันโดยประมาณ แต่ละชั้นตัก 25 ครั้ง แล้วเคาะด้านข้างภาชนะด้วยค้อนยาง 10 - 15 ครั้งต่อชั้น การตักสองชั้นบน ให้ต่ำทะลุผ่านชั้นข้างใต้ 2.5 เซนติเมตร (1 นิ้ว)
5. กรณีการจี้เขย่าภายใน : ตักคอนกรีตใส่และจี้เขย่า โดยแบ่งเป็น 2 ชั้นเท่า ๆ กันโดยประมาณ จี้เขย่า 3 จุดต่อชั้น การจี้เขย่าชั้นบนสุด ให้ทะลุผ่านชั้นข้างใต้ 2.5 เซนติเมตร (1 นิ้ว)
6. ใช้เหล็กปาดหน้าคอนกรีตให้เรียบ ทำความสะอาดข้างถัง
7. นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกน้ำหนักที่ได้ $[W_c]$

● การคำนวณ

$$\text{หน่วยน้ำหนักคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักคอนกรีตในถัง} [W_c]}{\text{ปริมาตรถัง} [V_c]}$$



12.10.8 การทดสอบปริมาณอากาศ

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 231

Standard Test Method for

Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method

● ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการหาปริมาณอากาศของคอนกรีตสด จากการสังเกต การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความดัน

● ความสำคัญและการใช้งาน

ใช้หาปริมาณอากาศในคอนกรีตสด โดยไม่รวมอากาศที่อาจอยู่ในช่องว่าง ภายในอนุภาคมวลรวม



รูปที่ 12-42 อุปกรณ์ทดสอบปริมาณอากาศ

● เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แอร์มิเตอร์
2. เหล็กค้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 เซนติเมตร
3. ช้อนตัก, ค้อนยาง, ลูกยาง, ภาชนะใส่น้ำ, และแผ่นเหล็กปิดหน้า

● วิธีการทดสอบ

1. นำอุปกรณ์ทั้งหมดไปจุ่มน้ำให้เปียก แล้วใช้ผ้าซับผิวอุปกรณ์ที่เปียกให้แห้ง
2. ตักคอนกรีตใส่ลงในแอร์มิเตอร์ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่า ๆ กันโดยประมาณ ในแต่ละชั้นตัก 25 ครั้งด้วยเหล็กค้ำ
3. ใช้ค้อนยางเคาะผิวด้านข้างของแอร์มิเตอร์โดยรอบ 10 - 15 ครั้ง เพื่อไล่อากาศในคอนกรีตออกให้หมด
4. ใช้แผ่นเหล็กปิดหน้าคอนกรีตให้เรียบ ทำความสะอาดบริเวณขอบแอร์มิเตอร์ ปิดฝาแล้วขันสกรูให้แน่น
5. เปิดวาล์วสำหรับใส่น้ำทั้งสองข้าง ใช้ลูกยางดูดน้ำใส่จนเต็ม โดยสังเกตจากน้ำที่ไหลออกมาอีกด้านหนึ่ง เมื่อน้ำเต็มจึงปิดวาล์ว
6. อัดอากาศเข้าไปในหม้อลมที่อยู่บริเวณฝาปิดจนเต็ม โดยสังเกตจากหน้าปิดของเครื่อง เข็มจะชี้ที่เลขศูนย์
7. กดปุ่มอัดอากาศ แล้วใช้ค้อนยางเคาะผิวด้านข้างของแอร์มิเตอร์เบา ๆ
8. อ่านค่าปริมาณอากาศจากหน้าปิด แล้วบันทึกค่า

● การประเมินผล

ในการหาปริมาณอากาศควรทำสองครั้ง และค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณอากาศที่ได้จากทั้งสองครั้ง ต้องแตกต่างกันไม่เกิน 0.2% นำค่าที่ได้ทั้งสองมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยที่ได้คือค่าปริมาณอากาศในคอนกรีต

มาตรฐานอ้างอิง

- E.I.T.Standard 1014-46 : ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต, คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- ASTM C 125 : 2003 : Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
- ASTM C 138 : 2001 : Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete
- ASTM C 143 : 2003 : Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete
- ASTM C 172 : 2004 : Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete
- ASTM C 192 : 2002 : Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
- ASTM C 231 : 2004 : Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method
- ASTM C 232 : 2004 : Standard Test Methods for Bleeding of Concrete
- ASTM C 403 : 1999 : Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance
- BS EN 12350-1 : 2000 : Testing fresh concrete — Part 1: Sampling
- BS EN 12350-2 : 2000 : Testing fresh concrete — Part 2: Slump test
- BS EN 12350-3 : 2000 : Testing fresh concrete — Part 3: Vebe test
- BS EN 12350-4 : 2000 : Testing fresh concrete — Part 4: Degree of compactability
- BS EN 12350-5 : 2000 : Testing fresh concrete — Part 5: Flow table test
- BS EN 12350-6 : 2000 : Testing fresh concrete — Part 6: Density
- BS EN 12350-7 : 2000 : Testing fresh concrete — Part 7: Air content. Pressure methods

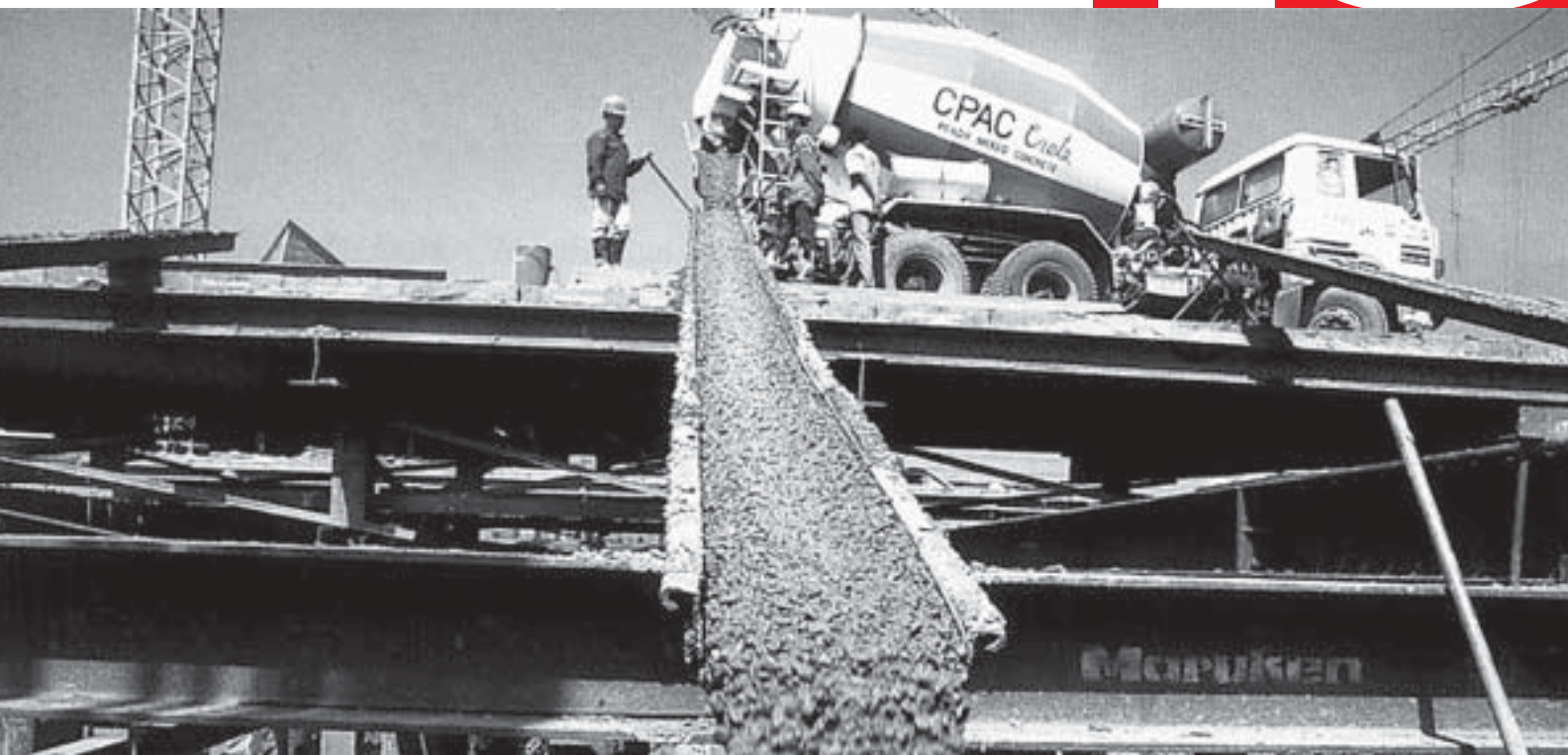
เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, “คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, “10 ขั้นตอนในการทำคอนกรีตที่ดี ตอนที่ 1”, 2546.
- 3 บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, “คู่มือการทดสอบหิน ทราวย และคอนกรีต”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, 2543.
- 4 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, “ความคงทนของคอนกรีต”, คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ ภายใต้คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา, 2543.
- 5 เอกสารวิชาการของคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2545.
- 6 ACI Committee 116, “ACI 116R : 2000 : Cement and Concrete Terminology”, 2002.
- 7 A. M. Neville, “Properties of Concrete”, Fourth Edition, 1999.
- 8 G. H. Tattersall, “Workability and Quality Control of Concrete”.
- 9 P. Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, “Concrete Structure, Properties, and Materials”, 1993.
- 10 bsonline.techindex.co.uk
- 11 ciks.cbt.nist.gov
- 12 www.astm.org
- 13 www.geocities.com

การเลือกใช้ส่วนผสม การชั่งตวง การผสม การลำเลียง การเท การอัดแน่น และการแต่งผิวหน้าคอนกรีต

บทที่

13



รูปที่ 13-1 การลำเลียงและการเทคอนกรีตงานฐานรากแผ่นขนาดใหญ่โดยวิธีการใช้รถคอนกรีตผสมเสร็จร่วมกับราง

บทคัดย่อ

การทำคอนกรีตสำหรับงานโครงสร้างให้มีคุณภาพดีตามข้อกำหนดนั้น นอกเหนือจากการเลือกใช้วัสดุผสมคอนกรีตชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอแล้ว ยังมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน และที่สำคัญคือ การควบคุมกระบวนการผลิตคอนกรีตที่ดีทุกขั้นตอน อันได้แก่ การชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีต, การผสมคอนกรีต, การลำเลียงคอนกรีต, การเทคอนกรีต, การอัดแน่นคอนกรีต, การแต่งผิวหน้าคอนกรีต, การบ่มคอนกรีต, และการถอดแบบหล่อคอนกรีต โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทุกขั้นตอน ยกเว้นการบ่มและการถอดแบบหล่อคอนกรีต ซึ่งจะได้กล่าวไว้ในบทถัดไป

ความผิดพลาดในการชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีตแต่ละชนิด จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตโดยตรง ดังนั้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีตแต่ละชนิดก่อนการผสมให้ถูกต้องและแม่นยำเพียงพอกับลักษณะงานก่อสร้างนั้น ๆ แล้วจึงทำการผสมคอนกรีต เพื่อให้คอนกรีตสดมีเนื้อสม่ำเสมอทุกส่วน และผิวมวลรวมทั้งหมดถูกเคลือบด้วยซีเมนต์เพสต์ ต่อจากนั้นจึงลำเลียงคอนกรีตจากบริเวณที่ผสมไปยังบริเวณที่จะเทลงแบบหล่อ ทำการเทคอนกรีตให้ใกล้จุดที่ต้องการจะเทมากที่สุด ในแบบหล่อ โดยต้องทำอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการแยกตัว ในขณะที่เดียวกันก็ทำการอัดแน่นคอนกรีต เพื่อไล่ฟองอากาศออกจากคอนกรีตสดที่เทแล้วให้มากที่สุด แล้วจึงทำการแต่งผิวหน้าคอนกรีต เพื่อให้ผิวหน้าคอนกรีตมีความสวยงาม ความแข็งแรง และมีความเรียบเหมาะสมกับการใช้งาน



13.1 บทนำ

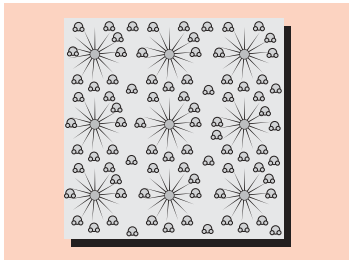
การทำคอนกรีตสำหรับงานโครงสร้างให้มีคุณภาพดีตามข้อกำหนดนั้น นอกเหนือจากการเลือกใช้วัสดุผสมคอนกรีตชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอแล้ว ยังมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน และที่สำคัญคือ การควบคุมกระบวนการผลิตคอนกรีตที่ดีทุกขั้นตอน อันได้แก่ การชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีต, การผสมคอนกรีต, การลำเลียงคอนกรีต, การเทคอนกรีต, การอัดแน่นคอนกรีต, การแต่งผิวหน้าคอนกรีต, การบ่มคอนกรีต, และการถอดแบบหล่อคอนกรีต โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทุกขั้นตอน ยกเว้นการบ่มและการถอดแบบหล่อคอนกรีต ซึ่งจะได้กล่าวไว้ในบทถัดไป

13.2 การเลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีต

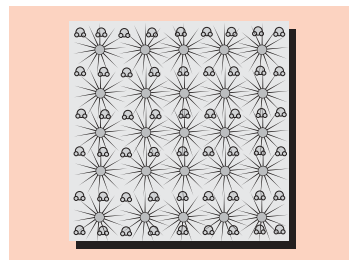
ส่วนผสมคอนกรีต คือ สัดส่วนโดยปริมาตรหรือโดยน้ำหนักของวัสดุต่าง ๆ ที่นำมาผสมเป็นคอนกรีต โดยทั่วไป ประกอบด้วย ปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำผสมคอนกรีต มวลรวม และอาจมีน้ำยาผสมคอนกรีตหรือสารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ ด้วย

ส่วนผสมคอนกรีตที่ดี จะใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมให้น้อยที่สุด โดยมีความสามารถในการเทได้พอเพียงกับลักษณะการใช้งาน รวมทั้งมีคุณสมบัติอื่น ๆ ตามที่ต้องการ เช่น กำลังรับแรง, ความคงทน, และความทึบน้ำ เป็นต้น

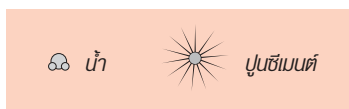
การเลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตอย่างถูกต้องถือเป็นสิ่งที่สำคัญมากไม่น้อยไปกว่าการเลือกใช้วัสดุผสมคอนกรีต ทั้งนี้เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีและมีต้นทุนหรือราคาที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน



ก) คอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์น้อยและมีปริมาณน้ำมาก



ข) คอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์มากและมีปริมาณน้ำน้อย



รูปที่ 13-2 คอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์มากและมีปริมาณน้ำน้อย จะมีความแข็งแรงมากกว่า เพราะมีการเชื่อมประสานกันระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ที่อยู่ใกล้กันมากกว่า

● ประเภทของส่วนผสมคอนกรีต

สามารถแบ่งส่วนผสมคอนกรีตที่มีใช้อยู่โดยทั่วไปได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

1. ส่วนผสมคอนกรีตโดยปริมาตร

คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของวัสดุผสมคอนกรีตชนิดต่าง ๆ โดยประมาณอย่างคร่าว ๆ โดยทั่วไปนิยมใช้เป็นอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหิน เช่น ส่วนผสมคอนกรีต สูตร 1 : 2 : 4 หมายถึง การผสมคอนกรีตในแต่ละครั้ง จะต้องใช้ปูนซีเมนต์มีปริมาตร 1 ส่วน, ทรายมีปริมาตร 2 ส่วน, และหินมีปริมาตร 4 ส่วน เป็นต้น ส่วนปริมาณน้ำซึ่งมิได้มีระบุในส่วนผสมนั้น มักขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ผสมคอนกรีต

ส่วนผสมคอนกรีตโดยปริมาตร นิยมใช้กันในงานก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตขนาดเล็กโดยทั่วไป ที่ไม่เคร่งครัดเรื่องคุณภาพ

ส่วนผสมคอนกรีต โดยปริมาตร (ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน)	การใช้งานก่อสร้าง โครงสร้างคอนกรีต ขนาดเล็กโดยทั่วไป
สูตร 1 : 3 : 5	คอนกรีตหยาบ, ใช้เก็บระดับ, รับกำลังได้ต่ำ
สูตร 1 : 2 : 4	โครงสร้างคอนกรีตทั่วไป เช่น พื้น ลาน เสา คาน ตอม่อ เป็นต้น
สูตร 1 : 1.5 : 3	ถนน และโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงมากขึ้น
สูตร 1 : 1.5 : 2 ⁽¹⁾	โครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงและความทนทานมากขึ้น

ตารางที่ 13-1 ส่วนผสมคอนกรีตโดยปริมาตรและการใช้งาน

(1) การใช้ส่วนผสมคอนกรีตสูตรนี้ ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (เช่น ปูนตราช้างทนน้ำเค็ม ดินเค็ม เป็นต้น) และสารผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำ จะช่วยทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงและความทนทานสูงกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา อันเป็นผลทำให้โครงสร้างมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

2. ส่วนผสมคอนกรีตโดยน้ำหนัก

คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของวัสดุต่าง ๆ ที่นำมาผสมเป็นคอนกรีต มีหน่วยเป็นน้ำหนักของวัสดุชนิดนั้น ๆ ต่อหน่วยปริมาตรคอนกรีต เช่น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นต้น

ส่วนผสมคอนกรีตโดยน้ำหนัก นิยมใช้กันในงานก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตขนาดกลางและขนาดใหญ่, อุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป, และอุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จ เพราะมีความถูกต้องและความแม่นยำสูงกว่าการใช้ส่วนผสมคอนกรีตโดยปริมาตรมาก จึงทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอมากกว่า

13.3 การชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีต

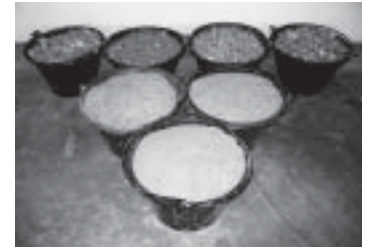
ความผิดพลาดในการชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีตแต่ละชนิด จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตโดยตรง ดังนั้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการชั่งตวง (Measuring หรือ Batching) วัสดุผสมคอนกรีตแต่ละชนิดก่อนการผสมให้ถูกต้องและแม่นยำเพียงพอกับลักษณะงานก่อสร้างนั้น ๆ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพตามต้องการ

● วิธีการชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีต

การชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีตอาจทำได้ 2 วิธีคือ การตวงปริมาตร และการชั่งน้ำหนัก

1. การตวงปริมาตรวัสดุผสมคอนกรีต

เหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก และคอนกรีตที่มีกำลังอัดค่อนข้างต่ำ แต่หากทำให้ถูกต้องก็สามารถผลิตคอนกรีตที่มีคุณภาพได้พอสมควร โดยผู้รับเหมาควรใช้กระเบยมารฐานในการตวงปริมาตรของมวลรวม เพราะจะช่วยเพิ่มความแน่นอนในการวัดมากกว่าการใช้ปั้งที่ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ยังมีความแม่นยำต่ำอยู่ เพราะความขึ้นบนผิวมวลรวมจะมีผลต่อหน่วยน้ำหนักอย่างมาก



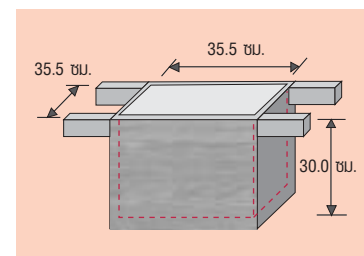
รูปที่ 13-3 การเตรียมส่วนผสมคอนกรีต โดยปริมาตร สูตร 1 : 2 : 4



รูปที่ 13-4 ลักษณะเนื้อคอนกรีตสดที่ใช้ส่วนผสมโดยปริมาตร สูตร 1 : 1.5 : 2



รูปที่ 13-5 งานก่อสร้างขนาดเล็ก มักนิยมใช้การตวงปริมาตรมวลรวมด้วยปั้งที่ ซึ่งเป็นวิธีการวัดที่มีความไม่แน่นอนสูง ทำให้มักได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำ และมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 13-6 ถังไม้มาตรฐานใช้ในการตวงปริมาตรมวลรวม ช่วยให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพสม่ำเสมอมากขึ้น



โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของมวลรวมละเอียด ซึ่งอาจมีหน่วยน้ำหนักเมื่อขึ้น
ต่างจากเมื่อแห้งถึง 30% ส่วนการวัดปริมาณปูนซีเมนต์โดยทั่วไป จะ
ประมาณจากจำนวนถุง เพราะปูนซีเมนต์มีน้ำหนักแน่นอน คือ 1 ถุง น้ำหนัก
50 กิโลกรัม ส่วนปริมาณน้ำ อาจใช้ถ้วยตวงเป็นตัวควบคุม

2. การชั่งน้ำหนักวัสดุผสมคอนกรีต

เป็นวิธีที่แน่นอนกว่าการตวงปริมาณมาก เหมาะสำหรับงานก่อสร้าง
โครงสร้างคอนกรีตทุกขนาด โดยเฉพาะงานขนาดกลางและขนาดใหญ่ และ
เป็นที่นิยมใช้กันในโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป และโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ
การวัดด้วยน้ำหนักยังมีส่วนต่อการปรับน้ำหนักส่วนผสมตามสภาพความชื้น
ของมวลรวมอีกด้วย มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ มอก.
213 กำหนดขอบเขตความคลาดเคลื่อนของการชั่งน้ำหนักไว้ ดังสรุปใน ตาราง
ที่ 13-2



รูปที่ 13-7 การชั่งน้ำหนักวัสดุผสม
คอนกรีตในโรงงานอุตสาหกรรมคอนกรีต

วัสดุผสมคอนกรีต	ปริมาณ	ความคลาดเคลื่อน ที่ยอมรับได้
ปูนซีเมนต์	น้อยกว่า 200 กก. มากกว่าหรือเท่ากับ 200 กก.	$\pm 2\%$ $\pm 1\%$
มวลรวม	น้อยกว่า 500 กก. มากกว่าหรือเท่ากับ 500 กก.	$\pm 3\%$ $\pm 2\%$
น้ำ	-	$\pm 3\%$
สารผสมเพิ่ม		
สารเคมีผสมเพิ่ม	-	$\pm 3\%$
แร่ผสมเพิ่ม	-	$\pm 3\%$

ตารางที่ 13-2 ขอบเขตของความคลาดเคลื่อนของการชั่งน้ำหนักวัสดุเพื่อใช้ผสมคอนกรีตตาม
มอก. 213

13.4 การผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีต (Mixing) คือ การนำส่วนผสมคอนกรีต ได้แก่ ปูนซีเมนต์ หิน
หรือกรวด ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มอื่น ๆ (เช่น น้ำยาผสมคอนกรีต) ที่ได้ชั่งตวงตามส่วน
ผสมคอนกรีตแล้ว มาผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกัน เพื่อให้คอนกรีตสดมีเนื้อสม่ำเสมอทุกส่วน
และผิวมวลรวมทั้งหมดถูกเคลือบด้วยซีเมนต์เฟส

การผสมคอนกรีตที่ดี จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดี แต่ถ้าหากทำการผสม
คอนกรีตได้ไม่ดี จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ มีความสามารถในการรับกำลัง
และความคงทนต่ำ

ปัญหาที่พบบ่อยส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในงานขนาดเล็ก คือ การผสมคอนกรีตให้เหลว
มากเกินไป เพื่อการเทและการอัดแน่นเข้าแบบหล่อได้ง่ายกว่า ส่งผลทำให้คอนกรีตสดเกิด
การแยกตัวได้ง่าย เกิดการแยกมากเกินไป และย่อมส่งผลเสียต่อความแข็งแรงและความ
คงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

● ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีตที่ดี ทำได้โดยการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผสมและคุณภาพคอนกรีตให้ถูกต้องเหมาะสม ได้แก่

- **คอนกรีต** : การเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพดี, การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสม, และการผสมคอนกรีตในปริมาณที่เหมาะสมกับเครื่องผสม
- **วิธีการผสมคอนกรีต** : โดยทั่วไป วิธีการผสมด้วยเครื่องผสมจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการผสมด้วยมือ ทำให้ได้คอนกรีตที่มีความสม่ำเสมอมากกว่า
- **เครื่องผสม** : ชนิดและขนาดเครื่องผสม, สภาพเครื่องผสม อาทิ ใบกวน, ใบปาด, อัตราการหมุนของเครื่องผสม, ระยะห่างระหว่างใบกวนและใบปาดกับพื้นและผนังเครื่องผสม
- **ขั้นตอนการป้อนวัสดุลงเครื่องผสม** : ไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนเกี่ยวกับลำดับการป้อนวัสดุลงเครื่องผสม แต่โดยทั่วไป อาจทำได้โดยการป้อนมวลรวมแล้วตามด้วยปูนซีเมนต์ และสุดท้ายตามด้วยน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีตพร้อมกัน
- **เวลาผสมคอนกรีต** : เลือกใช้เวลาผสมคอนกรีตที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้คอนกรีตมีเนื้อสม่ำเสมอทุก ๆ ครั้งที่ผสม

● วิธีการผสมคอนกรีต

วิธีการผสมคอนกรีตโดยทั่วไป มีอยู่ 3 วิธี ดังนี้

1. การผสมคอนกรีตด้วยมือ

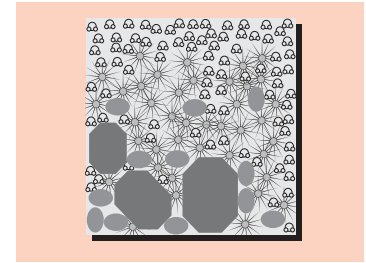
นิยมใช้วิธีการตวงปริมาตรวัสดุผสมคอนกรีต จึงมักทำให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำและมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ เหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็กที่ไม่เคร่งครัดเรื่องคุณภาพ วิธีการผสมทำได้โดยการผสมปูนซีเมนต์และทรายให้เข้ากันก่อนแล้วจึงใส่หิน สุดท้ายจะใส่น้ำในปริมาณที่กำหนด ปล่อยให้น้ำซึมเข้าในส่วนผสมขณะหนึ่ง แล้วผสมจนเข้ากัน จึงนำไปใช้งาน โดยทั่วไป ควรใช้ให้หมดภายใน 30 นาทีนับตั้งแต่เติมน้ำ

2. การผสมคอนกรีตด้วยไม้ขนาดเล็ก

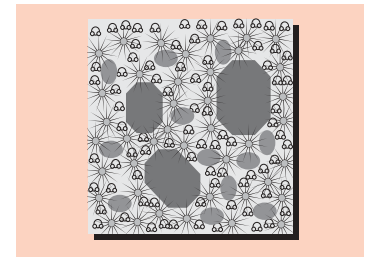
เป็นวิธีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในหน่วยงานก่อสร้างขนาดเล็กและขนาดกลาง คอนกรีตที่ได้มักมีคุณภาพดีกว่าการผสมด้วยมือ เพราะเครื่องผสมจะช่วยให้สามารถผสมคอนกรีตให้เข้ากันได้ดีกว่าการผสมด้วยมือ แต่อย่างไรก็ตามด้วยความนิยมในการตวงปริมาตรวัสดุผสมคอนกรีต ทำให้มักได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดค่อนข้างต่ำและมีคุณภาพไม่ค่อยสม่ำเสมอ

3. การผสมคอนกรีตด้วยเครื่องจักร

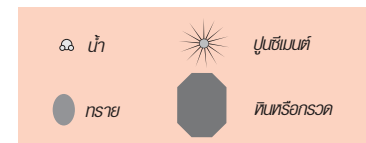
เหมาะสำหรับงานก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตทุกขนาด โดยเฉพาะงานขนาดกลางและขนาดใหญ่ และเป็นที่นิยมใช้กันในโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป และโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ สามารถผสมส่วนผสมคอนกรีตครั้งละปริมาณมากให้เข้ากันได้เป็นอย่างดี เพราะเครื่องผสมมีประสิทธิภาพสูงกว่าไม้ขนาดเล็ก และ



ก) การผสมคอนกรีตที่ไม่ดี เม็ดหินหรือกรวด กระจายตัวไม่สม่ำเสมอและอาจมีบางส่วนแยกตัวหรือเกิดการเยิ้มมากเกินไป



ข) การผสมคอนกรีตที่ดี เม็ดหินหรือกรวดกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 13-8 แผนภาพอย่างง่ายแสดงลักษณะเนื้อคอนกรีตภายหลังการผสมเปรียบเทียบระหว่างการผสมคอนกรีตที่ไม่ดีกับการผสมคอนกรีตที่ดี



รูปที่ 13-9 การผสมคอนกรีตด้วยมือ



รูปที่ 13-10 การผสมคอนกรีตด้วยไม้ขนาดเล็ก



รูปที่ 13-11 การผสมคอนกรีตด้วยเครื่องจักร เหมาะสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมคอนกรีต

ด้วยความนิยมใช้วิธีการชั่งน้ำหนักวัสดุผสมคอนกรีต จึงเป็นวิธีการผสมที่ทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอที่สุด

การผสมคอนกรีตด้วยเครื่องจักรนี้ อาจแบ่งเป็นประเภทย่อยได้ 3 ประเภท คือ

1. การผสมกัณฑ์ (Central Mixing) คือ การผสมคอนกรีตซึ่งผสมเสร็จเรียบร้อยสมบูรณ์จากโรงงาน
2. การผสม 2 ช่วง (Shrink Mixing) คือ การผสมคอนกรีต 2 ช่วง โดยช่วงแรกผสมจากโรงงาน และช่วงหลังเป็นการผสมให้เสร็จเรียบร้อยสมบูรณ์โดยรถผสม
3. การผสมโดยตรง (Truck Mixing) คือ การผสมคอนกรีตซึ่งผสมเสร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ในรถผสม

● เครื่องผสมคอนกรีต

สามารถจำแนกตามลักษณะการผสมได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

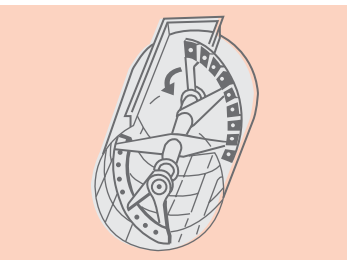
1. Batch Mixer

เป็นเครื่องผสมที่ผสมครั้งละ 0.5 หรือ 1 ลูกบาศก์เมตร หรืออื่นๆ ตามที่เครื่องสามารถทำได้

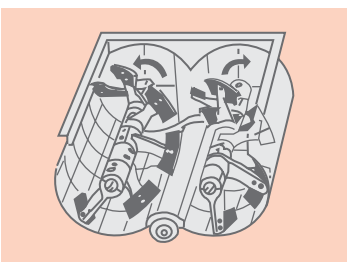
2. Continuous Mixer

เครื่องผสมชนิดนี้จะผสมคอนกรีตอย่างต่อเนื่องส่วนมากจะออกแบบไว้ใช้กับงานเฉพาะ เช่น ใช้กับงานเทคอนกรีตถนน, พื้นสนามบิน, และเขื่อน เป็นต้น

หรืออาจจำแนกเครื่องผสมคอนกรีตตามรูปลักษณะของเครื่องผสมได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่



ก) ชนิดเพลาเดี่ยว



ข) ชนิดเพลาคู่

รูปที่ 13-12 Stationary Drum Mixer หรือ Horizontal Shaft Mixer

1. Drum Mixer

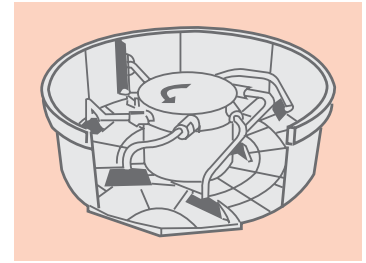
2. Pan Mixer

1. Drum Mixer

สามารถจำแนกออกได้อีก 4 ประเภท คือ

- Tilting Drum Mixer : เครื่องผสมแบบนี้ ตัว Drum สามารถเอียงได้สำหรับการเทคอนกรีตออกไปวางนอยู่ภายใน การคายคอนกรีตออกทำได้รวดเร็ว และไม่เกิดการแยกตัว ดังนั้นเครื่องผสมแบบนี้จะเหมาะสำหรับการผสมคอนกรีตที่มีความสามารถเทได้ต่ำๆ หรือส่วนผสมที่ใช้หินขนาดใหญ่
- Non-Tilting Drum Mixer : แกนของเครื่องผสมจะอยู่ในแนวนอนตลอดเวลา การปล่อยคอนกรีตออกจากเครื่องผสมทำโดยการสอดรางเข้าไปใน Drum หรือโดยการหมุน Drum กลับทิศทาง เนื่องจากอัตราการคายคอนกรีตที่ช้า ดังนั้นอาจมีการแยกตัวเกิดขึ้นได้ เพราะหินอาจถูกปล่อยออกมาเข้าสู่การใส่วัสดุผสมคอนกรีตลงในเครื่องผสมทำโดยใช้ Loading Skip
- Stationary Drum Mixer หรือ Horizontal Shaft Mixer : เครื่องผสมแบบนี้ ตัว Drum จะไม่เคลื่อนที่ มีเพียงใบกวนด้านในที่เคลื่อนที่ ซึ่งแตก

ต่างจากเครื่องผสม 2 ชนิดแรก ที่ตัว Drum และใบกวนหมุนไปพร้อม ๆ กัน เครื่องผสมชนิดนี้ ประกอบด้วย Drum ทรงกระบอกวางอยู่ในแนวนอนและมีเพลาวางตัวอยู่ในแนวนอน โดยมีใบกวนติดอยู่ซึ่งอาจเป็นเพลาดียวหรือเพลาคู้งแสดงใน **รูปที่ 13-12** เครื่องผสมชนิดนี้ นิยมใช้ในโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ เพราะสามารถผสมได้ทีละมาก ๆ ใช้เวลาผสมน้อย และคายคอนกรีตออกได้ง่าย แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่เหมาะที่จะใช้ผสมคอนกรีตที่แห้งมาก ๆ

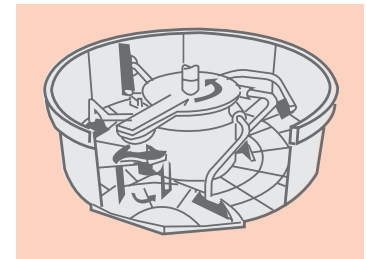


ก) ชนิดธรรมดา

- **Dual Drum Mixer** : บางครั้งใช้ในงานก่อสร้างถนนโดยมี Drum อยู่ 2 ชุด คอนกรีตจะถูกผสมใน Drum ชุดที่ 1 ช่วงเวลาหนึ่ง แล้วถ่ายลงมาผสมต่อใน Drum ชุดที่ 2 ก่อนจะเทออก เพื่อนำไปใช้งาน ประโยชน์คือทำให้สามารถผลิตคอนกรีตได้ปริมาณมากเป็น 2 เท่า

2. Pan Mixer

เป็น Forced-Action Mixer แตกต่างจาก Drum Mixer ซึ่งคอนกรีตใน Drum จะตกลงอย่างอิสระ เครื่องผสมแบบนี้ประกอบด้วย ส่วนสำคัญ คือ Circular Pan และมีใบกวนติดอยู่กับแกน และจะหมุนรอบแกนที่ตั้งได้จากกับแกนของ Pan Mixer บางชนิด Pan จะหมุน บางชนิดใบกวนจะหมุน และมีบางชนิดที่ทั้ง 2 สิ่งหมุนสวนทิศทางการหมุนในเวลาเดียวกัน คอนกรีตจะได้รับการผสมอย่างดีมาก เครื่องผสมแบบนี้จะมีอุปกรณ์ที่ปิดมอร์ตาร์ไม่ให้ติดข้างเครื่องผสม Pan Mixer นี้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับคอนกรีตที่แห้ง และส่วนผสมที่มีการยึดเกาะกันอย่างมาก เช่น คอนกรีตที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์มาก ดังนั้นจึงนิยมใช้สำหรับงานคอนกรีตอัดแรงในโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป และใช้ผสมคอนกรีตจำนวนน้อย ๆ หรือผสมมอร์ตาร์ในห้องปฏิบัติการได้



ข) ชนิดที่มีใบกวนเพิ่ม
รูปที่ 13-13 Pan Mixer

นอกจากนี้ยังอาจจำแนกเครื่องผสมคอนกรีตตามสถานที่ติดตั้งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. Stationary Mixer

เป็นเครื่องผสมที่ติดตั้งอยู่กับที่ ที่โรงงานอุตสาหกรรมคอนกรีต

2. Truck Mixer

เป็นรถผสมคอนกรีต ซึ่งทำหน้าที่ทั้งผสมและขนส่งคอนกรีตไปพร้อม ๆ กัน โดยภายในตัวถังจะมีใบกวนและใบผสม ประสิทธิภาพการผสมจะขึ้นอยู่กับใบกวนและใบผสมรวมทั้งจำนวนวัสดุผสมคอนกรีตที่ใส่เข้าไป โดยทั่ว ๆ ไปจะผสมคอนกรีตครั้งละ 1 ลูกบาศก์เมตร จนครบจำนวน 5 - 6 ลูกบาศก์เมตร การผสมคอนกรีตต้องมีการหมุนโมไม่น้อยกว่า 70 รอบ และไม่เกิน 100 รอบตามความเร็วของการผสม (Mixing Speed) ที่กำหนดของเครื่อง

● ขั้นตอนการป้อนวัสดุลงเครื่องผสม

ไม่มีกฎเกณฑ์ทั่วไปเกี่ยวกับลำดับของการป้อนวัสดุผสมคอนกรีตลงในเครื่องผสม แต่โดยทั่วไปจะมีขั้นตอนดังนี้



1. เติมน้ำประมาณ 10 - 20% ลงในเครื่องผสมเสียก่อน
2. ป้อนมวลรวม อันได้แก่ หินและทราย เข้าเครื่องผสม
3. เริ่มเติมปูนซีเมนต์หลังจากป้อนมวลรวมเข้าไปแล้ว 10%
4. เติมน้ำ 60 - 80% ระหว่างการป้อนวัสดุอื่น ๆ และเติมน้ำ 10 - 20% สุดท้ายเมื่อป้อนวัสดุอื่น ๆ ทั้งหมดเข้าเครื่องแล้ว
5. หากมีการใส่สารผสมเพิ่มในคอนกรีตประเภทผง ควรผสมรวมกับปูนซีเมนต์ก่อน หากเป็นของเหลว ควรผสมน้ำยากับน้ำก่อน

ลำดับที่เหมาะสมในการใส่วัสดุผสมลงในเครื่องผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องผสม, ระยะเวลาการผสม, ขนาดคละและชนิดของมวลรวม, ปริมาณน้ำ, ปริมาณปูนซีเมนต์, และชนิดของสารผสมเพิ่ม ในทางปฏิบัติลำดับการใส่วัสดุจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ควบคุมการผสม หรือผลการทดสอบกำลังอัดและการเยิ้มของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม ไม่ควรใส่ปูนซีเมนต์กับน้ำลงไปผสมก่อน เพราะเครื่องผสมโดยทั่วไป จะไม่สามารถผสมซีเมนต์เปียกได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ หากไม่มีมวลรวมอยู่ในเครื่องผสมด้วย

สำหรับในห้องปฏิบัติการ ลำดับก่อนหลังในการใส่วัสดุลงในเครื่องผสมก็มีความสำคัญเช่นกัน เพื่อให้ได้ส่วนผสมคอนกรีตที่ผสมอย่างถูกต้องและมีเนื้อสม่ำเสมอ โดยจะใส่มวลรวมหยาบ, มวลรวมละเอียด, ปูนซีเมนต์, และน้ำ ตามลำดับ ถ้ามีการใช้น้ำยาผสมคอนกรีต จะผสมน้ำยากับน้ำก่อนแล้วจึงเทลงในเครื่องผสม

● เวลาผสมคอนกรีต

เวลาผสมคอนกรีต (Mixing Time) คือ เวลาที่ใช้ในการผสมคอนกรีตจนมีเนื้อสม่ำเสมอทุกครั้งที่ทำการผสม

เวลาผสมคอนกรีตที่เหมาะสมที่สุด คือ เวลาที่ทำให้ได้ส่วนผสมที่สม่ำเสมอทุก ๆ ครั้ง ที่ผสม ซึ่งจะได้จากการทดลองผสมในสภาพใช้งานจริง เช่น ส่วนผสมที่แห้ง มีปริมาณปูนซีเมนต์น้อย จะต้องผสมเป็นเวลานาน, และส่วนผสมที่ใช้มวลรวมที่เป็นเหลี่ยมมุม ต้องผสมนานกว่ามวลรวมที่กลม

คอนกรีตที่ผสมด้วยเครื่องจักรโดยทั่วไป ควรใช้เวลาผสมคอนกรีตไม่น้อยกว่า 60 วินาที สำหรับการผสมครั้งละไม่เกิน 1 ลูกบาศก์เมตร แต่อาจเพิ่มขึ้นถึง 3 นาทีหรือมากกว่านี้ได้ เมื่อทำการผสมคอนกรีตที่ค่อนข้างแห้งมาก หรือคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวไม่เกิน 3 เซนติเมตร หรือคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) โดยเฉพาะในโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป

มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา [ASTM C 94] แนะนำให้ใช้เวลาผสมอย่างน้อย 1 นาที ในการผสมคอนกรีตไม่เกิน 1 ลูกบาศก์ทาลแรก (ประมาณ 0.75 ลูกบาศก์เมตร) และเพิ่มเวลา 15 วินาที ต่อปริมาณคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น 1 ลูกบาศก์ทาล

โดยทั่วไป การผสมคอนกรีตจะถือว่าสมบูรณ์ เมื่อไม่มีการแยกตัวเกิดขึ้น ทำให้คอนกรีตที่ชักตัวอย่างมาทดสอบความสม่ำเสมอ มีคุณสมบัติแตกต่างกันไม่เกินข้อกำหนดที่แสดงไว้ใน ตารางที่ 13-3

ผลกระทบของเวลาผสมคอนกรีตน้อยเกินไป ทำให้คอนกรีตมีเนื้อไม่สม่ำเสมอ มีความแข็งแรงและความคงทนต่ำ ผิวคอนกรีตไม่สวยงาม เป็นลายไม่เรียบ มีช่องว่างอากาศมาก

การทดสอบ	2 ตัวอย่างมีค่าต่างกันไม่เกิน
ค่ายุบตัว (Slump) ไม่เกิน 7.5 เซนติเมตร เกิน 7.5 เซนติเมตร	2.5 เซนติเมตร 4.0 เซนติเมตร
ปริมาณอากาศในคอนกรีต (Air Content)	1.0%
ปริมาณมวลรวมหยาบในคอนกรีต (Coarse Aggregate Content)	6.0%
หน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์ที่ปราศจากอากาศ (Unit Weight of Air-Free Mortar)	1.6%

ตารางที่ 13-3 ข้อกำหนดคุณสมบัติความสม่ำเสมอของคอนกรีต

ถ้าคอนกรีตถูกผสมเป็นเวลานาน น้ำจะระเหยออกจากคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ลดลง และปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะเริ่มเกิดขึ้น ผลกระทบของเวลาผสมคอนกรีตนานเกินไป 3 ประการ คือ

1. มวลรวมหยาบที่ไม่แข็งแรงจะแตกออก ทำให้ปริมาณส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ลดลง ถ้ามีการเติมน้ำเพิ่มเพื่อให้คอนกรีตสดเหลวขึ้น จะส่งผลทำให้คอนกรีตมีกำลังลดลง
2. ผลของแรงเสียดทานและปฏิกิริยาที่เริ่มเกิดขึ้น ทำให้คุณสมบัติของส่วนผสมเพิ่มขึ้น คอนกรีตสดจึงร้อนขึ้น
3. ปริมาณฟองอากาศลดลง

การเพิ่มปริมาณน้ำเพื่อทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้เหมือนเดิม ที่เรียกว่า “Retempering” จะทำให้กำลังอัดต่ำลง และมีการหดตัว (Shrinkage) เพิ่มขึ้น โดยผลนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใส่เพิ่มเข้าไป



รูปที่ 13-14 เวลาผสมคอนกรีตน้อยเกินไป ทำให้ผิวคอนกรีตมีช่องว่างอากาศ (ตามด) มาก

13.5 การลำเลียงคอนกรีต

การลำเลียงคอนกรีต (Transporting หรือ Conveying) คือ การนำคอนกรีตจากเครื่องผสมหรือบริเวณที่ผสมภายหลังจากที่ผสมคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไปยังบริเวณที่จะเทลงแบบหล่อ การลำเลียงที่ถูกต้องควรทำในลักษณะที่จะให้ได้คอนกรีตที่สม่ำเสมอ ไม่แยกตัวก่อนเทลงแบบ และต้องมีวิธีป้องกันคอนกรีตจากสภาพแวดล้อมที่มีผลเสีย เช่น ความร้อน, และความชื้น เป็นต้น

การลำเลียงคอนกรีตที่ดีนั้น ทำได้โดยการเลือกใช้วิธีการลำเลียงคอนกรีตที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ทำให้คอนกรีตยังคงมีคุณสมบัติตามต้องการที่จุดเท คอนกรีตมีเนื้อสม่ำเสมอ ไม่เกิดการแยกตัว ไม่เกิดการเย็นมากเกินไป ใช้เวลาลำเลียงน้อย และประหยัด

● ปัจจัยในการเลือกวิธีการลำเลียง

การเลือกวิธีการลำเลียงคอนกรีตที่เหมาะสมนั้นจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- งานก่อสร้าง : ชนิดและขนาดงานก่อสร้าง, และลักษณะของโครงสร้างที่เท
- สถานที่ : สภาพสถานที่เท (ความยากง่ายในการเข้าถึงจุดเท, จุดเทอยู่ระดับเดียวกัน สูงกว่าหรือต่ำกว่าบริเวณผสมคอนกรีต), ระยะทาง สภาพเส้นทาง และสภาพภูมิอากาศในการขนส่ง
- คอนกรีต : วัสดุผสม, ส่วนผสม, และสภาพความชื้นเหลวของคอนกรีต
- การเท : ปริมาณและอัตราการเท
- ค่าใช้จ่าย : ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์, และค่าแรงงาน

● วิธีการลำเลียงและการเทคอนกรีต

วิธีการลำเลียงและการเทคอนกรีตที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน อาทิเช่น การใช้รถเข็น, การใช้ราง, การใช้คอนยอกถังเหล็ก, การใช้รถคอนกรีตผสมเสร็จหรือรถโม้, และการใช้ปั๊มคอนกรีต เป็นต้น



1. บริเวณที่ต้องการเทคอนกรีตอยู่ในระดับเดียวกับที่ผสมคอนกรีต



รูปที่ 13-15 การล่ำเลียงคอนกรีต โดยใช้คนหัวถังใส่คอนกรีต



รูปที่ 13-16 การล่ำเลียงคอนกรีต โดยใช้รถเข็น



ก) รถบรรทุกถังเหล็กใส่คอนกรีตในโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป



ข) รถบรรทุกเทท้ายใช้ในการล่ำเลียงและการเทคอนกรีตงานเขื่อน และงานพื้นสนามบิน

รูปที่ 13-17 การล่ำเลียงและการเทคอนกรีตด้วยรถขนส่ง

ถังใส่คอนกรีต		
ลักษณะการใช้งาน	ข้อได้เปรียบ	ข้อควรระวัง
ใช้คนหัวหรือหางถังใส่คอนกรีต	- เหมาะกับการก่อสร้างขนาดเล็ก - เหมาะกับการจุดเทที่เข้าถึงได้ยาก	- ควรเลือกใช้ถังใส่คอนกรีตที่มีขนาดเหมาะสม ซึ่งคนงานสามารถหัวหรือหางถังได้สะดวก - ล่ำเลียงได้ปริมาณน้อย - ใช้คนงานจำนวนมาก

รถเข็น (Wheelbarrow)		
ลักษณะการใช้งาน	ข้อได้เปรียบ	ข้อควรระวัง
ใช้คนเข็นรถเข็นซึ่งบรรจุคอนกรีตไปยังจุดเทในระยะทางใกล้ๆ ในระดับค่อนข้างราบ	- เหมาะกับการก่อสร้างขนาดเล็ก - เหมาะกับการจุดเทที่เข้าถึงได้ยาก	- เมื่อเข็นไปถึงที่ก่อสร้างแล้วควรที่จะใส่กระบะแล้วคลุกเคล้าอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำไปเท - ล่ำเลียงได้ปริมาณน้อย - ใช้คนงานจำนวนมาก

รถขนส่ง (Truck)		
คือ รถซึ่งสามารถขนส่งคอนกรีตที่ผสมเรียบร้อยแล้ว		
ลักษณะการใช้งาน	ข้อได้เปรียบ	ข้อควรระวัง
- ผสมคอนกรีตเสร็จแล้วคายคอนกรีตใส่ถังเหล็กซึ่งวางอยู่บนรถ แล้วล่ำเลียงด้วยรถขนส่งไปยังบริเวณที่เทคอนกรีต แล้วใช้เครื่องมือช่วยยกถังเหล็กไปเทยังจุดที่ต้องการต่อไป ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป - อาจใช้รถบรรทุกเทท้ายหรือรถตม (Dump Truck)	- เหมาะกับการล่ำเลียงคอนกรีตในระยะทางใกล้ๆ ในโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป - เหมาะกับการเทเขื่อน, พื้นสนามบิน, ถนน, และลานกว้างๆ ที่ใช้คอนกรีตที่แห้ง เช่น No-Slump Concrete, คอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete หรือ RCC) เป็นต้น	- รถขนส่งคอนกรีตสามารถเข้าถึงบริเวณที่เทได้ - จุดผสมคอนกรีตไม่ควรอยู่ไกลจากจุดที่เทคอนกรีตมากนัก - ไม่เหมาะกับการคอนกรีตที่เหลว - ต้องระมัดระวังคอนกรีตแยกตัวในระหว่างการขนส่ง

2. บริเวณที่ต้องการเทคอนกรีตอยู่ในระดับต่ำกว่าที่ผสมคอนกรีต

ราง (Chute)		
ลักษณะการใช้งาน	ข้อดีเปรียบ	ข้อควรระวัง
- ใช้รางลำเลียงคอนกรีตไปยังจุดเทที่อยู่ในระดับต่ำกว่า - อาจใช้รางเหล็กหรือรางไม้ก็ได้	- เป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนต่ำและใช้งานง่าย - ไม่ต้องจัดหาแหล่งให้พลังงาน เพราะใช้แรงโน้มถ่วงโลก	- ส่วนผสมคอนกรีตจะต้องไม่แห้งหรือเหลวเกินไป จะต้องเหลวพอดีที่จะไหลในรางได้ง่ายและสม่ำเสมอ โดยไม่เกิดการแยกตัว - ความชันของรางควรอยู่ระหว่าง 1 ต่อ 2 และ 1 ต่อ 3 และต้องมีจุดรองรับรางที่เพียงพอ - จัดเตรียมก่อนปล่อยคอนกรีตที่ปลายราง เพื่อป้องกันการแยกตัว



ก) การเตรียมรางก่อนการเท



ข) การลำเลียงและการเทคอนกรีตผ่านราง

รูปที่ 13-18 การลำเลียงและการเทคอนกรีตโดยใช้ราง

3. บริเวณที่ต้องการเทคอนกรีตอยู่ในระดับสูงกว่าที่ผสมคอนกรีต

ถังเหล็ก (Bucket หรือ Hopper) และทาวเวอร์เครนหรือรถเครน (Tower Crane) หรือลิฟต์ (Lift) หรือรอก (Pulley)		
ลักษณะการใช้งาน	ข้อดีเปรียบ	ข้อควรระวัง
- ใช้เครนหรือลิฟต์ตั้งถังเหล็กขึ้นไปใช้ลำเลียงคอนกรีตเหนือระดับพื้นดินไปที่แบบหล่อหรือจุดดูลำเลียงถัดไป - งานก่อสร้างอาคารหลาย ๆ ชั้นไม่สามารถนำเครื่องผสมคอนกรีตขึ้นไปผสมในแต่ละชั้นได้ จึงอาจใช้รอกเข้าช่วยในการตั้งถังใส่คอนกรีตขึ้นไปยังอาคารชั้นบน	- เหมาะกับการขนถ่ายและขนถ่ายใหญ่ เช่น อาคารสูง, และเขื่อน - ใช้ประโยชน์จากเครนและรอกได้หลากหลาย เช่น ขนย้ายแบบหล่อ, และวัสดุก่อสร้างอื่นๆ - กรณีใช้เครน จะช่วยให้ลำเลียงได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน - ถังเหล็กมีความจุหลายขนาดและป้องกันคอนกรีตแยกตัวได้ดี	- เลือกขนาดความจุของถังเหล็กให้เหมาะสม - ไม่ควรทิ้งคอนกรีตไว้ในถังนานเกินไป - คอนกรีตเหลวพอที่จะสามารถปล่อยออกจากถังได้ - ควรมีการวางแผนการใช้เครนยก - นั่งร้านที่รับรอกต้องแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักคอนกรีตในถังและการดึงเชือกได้



ก) คายคอนกรีตจากรถโมโตไซด์ถึงถังเหล็ก



ข) ใช้ทาวเวอร์เครนยกถังเหล็กในการลำเลียงคอนกรีตไปเทยังอาคารชั้นบน ๆ

รูปที่ 13-19 การลำเลียงคอนกรีตโดยใช้เครนยกถังเหล็ก



ประเภทของรถคอนกรีตผสมเสร็จ	ปริมาณคอนกรีตที่ใส่ได้เทียบกับปริมาตรไม่
รถผสม	
การผสมกับที่	ไม่เกิน 80%
การผสม 2 ช่วง	ไม่เกิน 70%
การผสมโดยรถ	ไม่เกิน 65%
รถกวน	ไม่เกิน 80%

ตารางที่ 13-4 ปริมาณคอนกรีตที่ใส่ในไม้ออกของรถคอนกรีตผสมเสร็จ



ก) รถคอนกรีตผสมเสร็จ เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทุกขนาด โดยเฉพาะงานขนาดกลาง และขนาดใหญ่



ข) รถคอนกรีตผสมเสร็จยังเหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็กด้วย



ค) รถคอนกรีตผสมเสร็จที่ได้รับการออกแบบให้เหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็กโดยเฉพาะ

รูปที่ 13-20 การลำเลียงคอนกรีตโดยใช้รถคอนกรีตผสมเสร็จ

4. บริเวณที่ต้องการเทคอนกรีตอยู่ห่างไกลจากที่ผสมคอนกรีต

รถคอนกรีตผสมเสร็จหรือรถโม (Ready Mixed Concrete Truck)

ประเภทของรถคอนกรีตผสมเสร็จ

- 1. รถผสม (Truck Mixer) :** รถโมซึ่งสามารถขนส่งคอนกรีตและป้องกันน้ำรั่วได้ และยังสามารถผสมคอนกรีตให้เข้ากันได้ดี เหมาะสำหรับใช้กับโรงงานคอนกรีตประเภทผสมแห้ง (Dry Mix) ที่ใช้รถโมเป็นอุปกรณ์ในการผสมคอนกรีต ลักษณะของโมจะมีใบกวนเพื่อให้คอนกรีตคลุกเคล้ากันได้ดี ซึ่งอาจเป็นแบบที่มีใบกวนอยู่ภายใน หรือเป็นแบบใบเกลียว 2 ชั้นตลอดทั้งโม
- 2. รถกวน (Truck Agitator) :** รถโมซึ่งสามารถขนส่งคอนกรีตที่ผสมเรียบร้อยแล้วและป้องกันน้ำรั่วได้ เหมาะสำหรับใช้กับโรงงานคอนกรีตประเภทผสมเปียก (Wet Mix) ที่มีเครื่องผสมอยู่ที่โรงงาน ลักษณะของโมจะมีใบเกลียวสำหรับลำเลียงคอนกรีตเข้า และคายคอนกรีตออกเท่านั้น

ลักษณะการใช้งาน	ข้อได้เปรียบ	ข้อควรระวัง
รถคอนกรีตผสมเสร็จลำเลียงคอนกรีตไปจัดส่งที่หน่วยงานก่อสร้าง เมื่อถึงที่ก่อสร้างก็จะทำการผสมหรือกวนอีกครั้งก่อนเทลงแบบหรือภาชนะที่รองรับต่อไป	- หน่วยงานก่อสร้างมีพื้นที่จำกัด การใช้คอนกรีตผสมเสร็จจึงช่วยลดปัญหาเรื่องพื้นที่ได้ - เหมาะกับการขนส่งคอนกรีตทุกขนาด - สามารถขนส่งคอนกรีตได้ไกลในปริมาณมาก และคอนกรีตมีคุณภาพสม่ำเสมอ - กรณีใช้รถผสมคอนกรีต ก็ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องผสมคอนกรีตที่โรงงาน เพราะสามารถผสมคอนกรีตภายในรถได้	- เหมาะกับการก่อสร้างที่รถคอนกรีตผสมเสร็จสามารถเข้าเทได้ถึงหน่วยงาน - เวลาขนส่งควรเหมาะสมกับแผนงานการเท - ต้องมีการเตรียมรับคอนกรีตที่หน่วยงานก่อสร้าง

5. วิธีการลำเลียงและการเทอื่น ๆ

ปั๊มคอนกรีต (Concrete Pump)

ประเภทของปั๊มคอนกรีต

- 1. Stationary Pump :** เป็นปั๊มลาก สามารถลากไปตรงจุดที่จะลำเลียงคอนกรีต และใช้ท่อปั๊มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-15 เซนติเมตร ต่อจากปั๊มขึ้นไปบนอาคาร สามารถลำเลียงคอนกรีตด้วยอัตราที่ต่ำกว่า Mobile Pump และด้วยแรงดันที่สูงกว่า แต่จะยุ่งยากในการเคลื่อนย้ายจุดและการต่อท่อ
- 2. Mobile Pump :** เป็นปั๊มคอนกรีตที่ติดอยู่กับรถ เคลื่อนย้ายได้ง่าย แต่จะถูกจำกัดด้วยความสูงในการลำเลียง



ก) Stationary Pump

รูปที่ 13-21 ประเภทของปั๊มคอนกรีต



ข) Mobile Pump

ลักษณะการใช้งาน	ข้อได้เปรียบ	ข้อควรระวัง
ใช้สำหรับคอนกรีตผ่านท่อบีบ โดยตรงไปยังจุดเทที่แบบหล่อหรือจุดสำหรับกดไป	- เหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดใหญ่ ที่ต้องใช้ปริมาณคอนกรีตมาก มีพื้นที่จำกัด หรือยากต่อการเทด้วยวิธีการอื่นๆ - สามารถลำเลียงคอนกรีตได้ทั้งในแนวตั้งและแนวราบ - ใช้แรงงานน้อย จึงช่วยลดค่าแรงได้	- เลือกประเภทและขนาดของบีบให้เหมาะสมกับลักษณะโครงสร้าง, อัตราการเท, และความสูงในการลำเลียง - เลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อบีบที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงน้ำหนักของท่อ และขนาดของมวลรวมหยาบไม่ควรเกิน 1/5 ของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ - ระมัดระวังการติดตึงท่อบีบ, ลดระยะบีบในแนวตั้ง, ลดการใช้ข้องอ และส่วนที่กดเกี่ยวให้เหลือน้อยที่สุด - ทำการเคลือบภายในท่อด้วยมอร์ตาร์ก่อนการใช้งานทุกครั้ง และต้องบีบคอนกรีตผ่านท่ออย่างต่อเนื่อง



ก) งานฐานรากแผ่ขนาดใหญ่



ข) งานอาคาร



ค) งานถนน

รูปที่ 13-22 การลำเลียงและการเทคอนกรีตโดยใช้ปั๊มคอนกรีต

สายพานลำเลียง (Belt Conveyor)		
ลักษณะการใช้งาน	ข้อได้เปรียบ	ข้อควรระวัง
ลำเลียงคอนกรีตไปบนสายพานลำเลียง	- สามารถใช้ได้ผลดีกับบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีตทั้งที่อยู่ในระดับเดียวกัน สูงกว่า หรือต่ำกว่าที่ผสมคอนกรีต - การแยกตัวของมวลรวมมีไม่มาก เพราะทุกจุดจะเคลื่อนไปพร้อมกันบนสายพาน	ระวังการสูญเสียของน้ำเนื่องจากแสงแดดและลม

13.6 การเทคอนกรีต

การเทคอนกรีต (Placing หรือ Placement) คือ การนำคอนกรีตจากเครื่องมือลำเลียงไปเทให้ใกล้จุดที่ต้องการจะเทมากที่สุดแบบหล่อ โดยต้องทำอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการแยกตัว และคอนกรีตสามารถถูกอัดแน่นในแบบหล่อได้อย่างเต็มที่

การเทและการอัดแน่นคอนกรีตเป็นขั้นตอนการทำคอนกรีตที่ดำเนินไปพร้อม ๆ กัน แต่เป็นอิสระต่อกัน และเป็นขั้นตอนการทำคอนกรีตที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตคอนกรีต โดยควรถือว่าการเทและการอัดแน่นเป็นขั้นตอนเดียวกันเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ในบทนี้จะแยกพิจารณาเป็นสองขั้นตอนเพื่อให้เข้าใจต่อการทำความเข้าใจมากขึ้น

การเทคอนกรีตที่ดีนั้น จำเป็นต้องมีการวางแผนและการเตรียมการก่อนการเทที่ดี และทำการเทคอนกรีตอย่างถูกวิธี



รูปที่ 13-23 การเทและการอัดแน่นคอนกรีต เป็นขั้นตอนการทำคอนกรีตที่ดำเนินไปพร้อม ๆ กัน

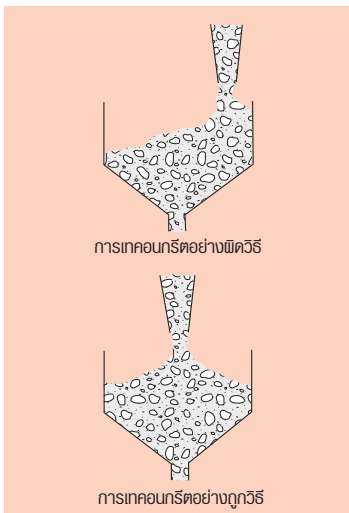


● การวางแผนและการเตรียมการก่อนการเท

- **คอนกรีต** : คอนกรีตมีคุณภาพสม่ำเสมอและมีปริมาณเพียงพอ, และมีอัตราการใช้ที่เหมาะสมกับอัตราการใช้
- **เครื่องมือ** : เครื่องมือที่เหมาะสมเพียงพอ สะอาด และพร้อมใช้งาน, มีอัตราการใช้ที่เหมาะสม, สามารถเข้าถึงจุดที่ต้องการเทมากที่สุด, และไม่ทำให้คอนกรีตแยกตัว
- **การเตรียมการอื่น ๆ** : มีคนงานเพียงพอ, ถ้าเทกลางคืน ควรมีแสงไฟเพียงพอ, และตรวจสอบรายละเอียดต่าง ๆ เช่น รอยต่อ, แบบหล่อ, เหล็กเสริม, และสิ่งที่จะฝังติดในคอนกรีต ให้พร้อมก่อนการเท



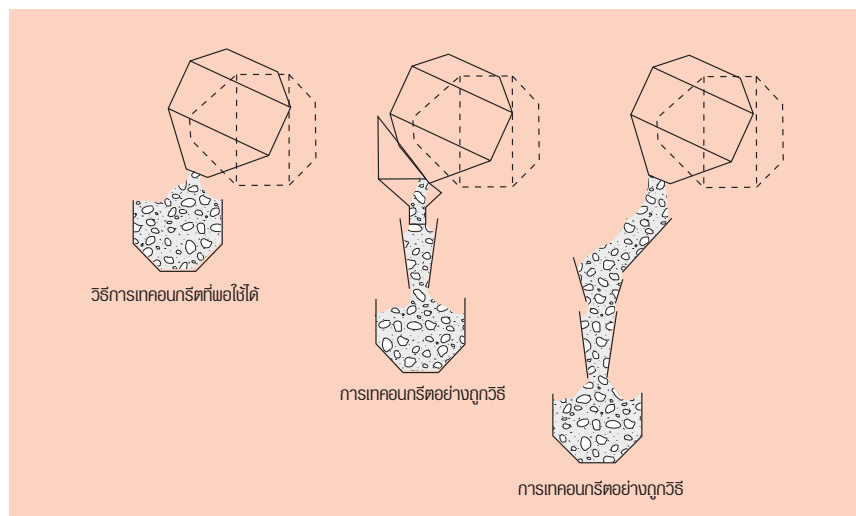
รูปที่ 13-24 การเทคอนกรีตให้ใกล้จุดที่ต้องการจะเทมากที่สุดแบบหล่อเพื่อป้องกันการแยกตัว



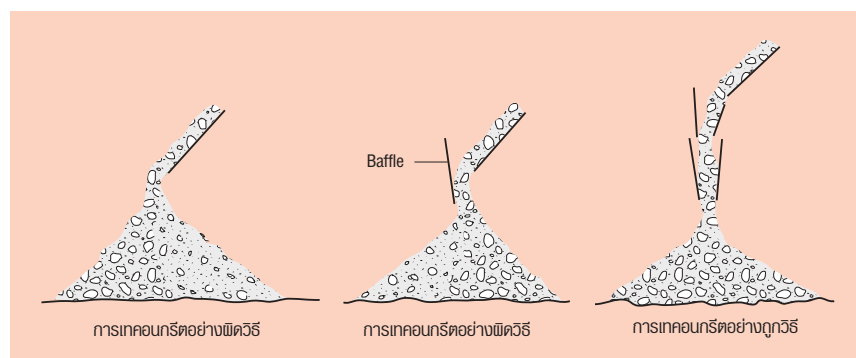
รูปที่ 13-26 การป้องกันการแยกตัวเมื่อเทคอนกรีตลงถึงเหล็ก

● วิธีการเทคอนกรีต

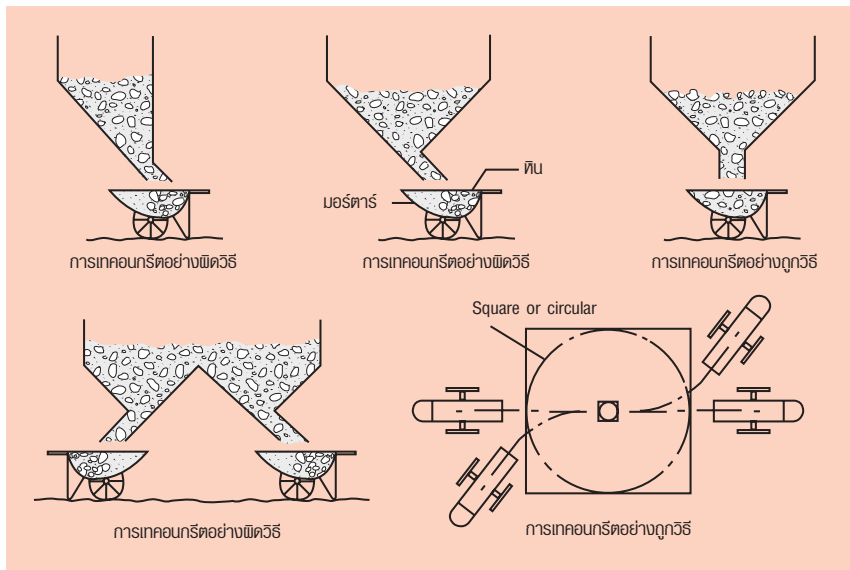
- **ตำแหน่งและทิศทางการเท** : การเทคอนกรีตให้เคลื่อนที่ลงในแนวตั้งให้ใกล้จุดที่ต้องการจะเทมากที่สุดแบบหล่อ และหลีกเลี่ยงการทำให้คอนกรีตเคลื่อนที่ในแนวราบ เช่น การใช้เครื่องจักรเขี่ยดินคอนกรีตให้เคลื่อนที่ เป็นต้น เพื่อป้องกันการแยกตัวของคอนกรีต



รูปที่ 13-25 การป้องกันการแยกตัวจากการเทคอนกรีตออกจากเครื่องผสม

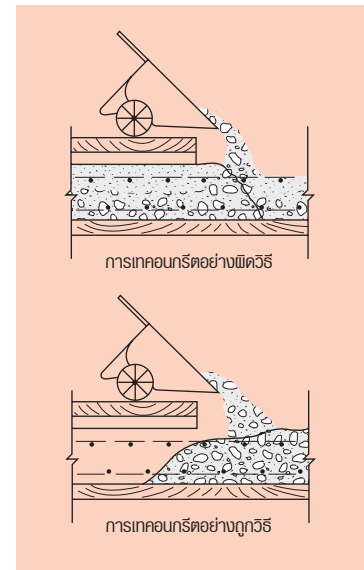


รูปที่ 13-27 การป้องกันการแยกตัวบริเวณปลายราง

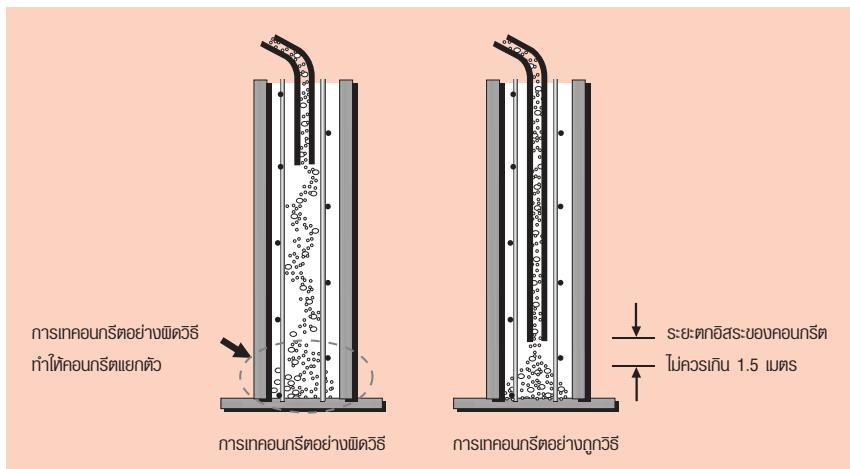


รูปที่ 13-28 การป้องกันการแยกตัวจากการเทคอนกรีตออกจากถังเหล็ก

- ระยะห่างในการเท : ระยะตกอิสระของคอนกรีต ไม่ควรสูงเกิน 1.5 เมตร เพื่อให้มั่นใจว่าคอนกรีตได้ถูกตำแหน่งที่ต้องการ และเพื่อลดการแยกตัวของคอนกรีต

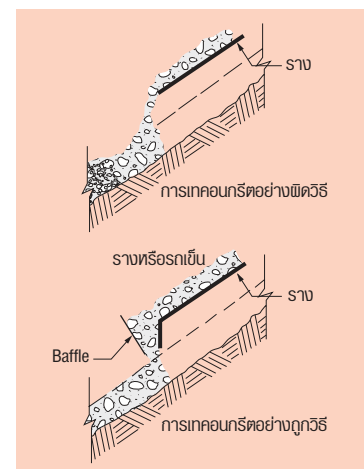


รูปที่ 13-29 การเทคอนกรีตจากรถเข็น



รูปที่ 13-30 การเทคอนกรีตส่วนโครงสร้างเสาหรือกำแพง

- อัตราการเท : ควรเหมาะสมกับอัตราการอัดแน่นคอนกรีต
- ความหนาของชั้นคอนกรีตที่เท : ควรเทคอนกรีตเป็นชั้น ๆ อย่างสม่ำเสมอ ไม่ควรเทเป็นกองสูง ความหนาของการเทแต่ละชั้นควรเหมาะสมกับวิธีการอัดแน่น เพื่อให้สามารถไล่ฟองอากาศออกจากคอนกรีตได้มากที่สุด โดยทั่วไปไม่ควรหนาเกินชั้นละ 30 - 45 เซนติเมตร



รูปที่ 13-31 การเทคอนกรีตส่วนโครงสร้างที่เอียง

วิธีการเทคอนกรีต	อัตราการเทคอนกรีต (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)
ใช้สฟัด	10
ใช้ครน	15
ใช้บีบ	40

ตารางที่ 13-5 อัตราการเทคอนกรีต



รูปที่ 13-32 การเทคอนกรีตเป็นชั้น ๆ อย่างสม่ำเสมอ 9



รูปที่ 13-33 การเทคอนกรีตทับบนชั้นคอนกรีตซึ่งเริ่มก่อตัวแล้ว ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างชั้นการเท (Cold Joint) ขึ้น 10



รูปที่ 13-34 การเทคอนกรีตเข้าไปในแบบหล่อที่มีเหล็กเสริมหนาแน่นมาก ควรระมัดระวังไม่ให้คอนกรีตตกกระทบกับเหล็กเสริม เพราะอาจทำให้คอนกรีตแยกตัวได้



รูปที่ 13-35 การใช้แบบหล่อเคลื่อนที่ (Slipforming) ในการก่อสร้างอาคารสูง

• รอยต่อระหว่างชั้นการเทคอนกรีต :

- คอนกรีตในแต่ละชั้น ควรได้รับการอัดแน่นก่อนที่จะเทชั้นถัดไป และควรเทชั้นถัดไปในขณะที่ชั้นล่างยังไม่เริ่มก่อตัว เพื่อให้คอนกรีตทุกชั้นเชื่อมต่อเป็นเนื้อเดียวกัน และหลีกเลี่ยงการเกิดรอยต่อระหว่างชั้นการเท (Cold Joint)
- ถ้าตรวจสอบพบการเยิ้มของน้ำขึ้นมาจากผิวคอนกรีตชั้นที่เทก่อนแล้ว ควรหยุดเทและกำจัดน้ำที่เยิ้มออกให้หมด ก่อนที่จะเทคอนกรีตชั้นถัดไป
- เมื่อไม่สามารถเทคอนกรีตส่วนใดให้แล้วเสร็จได้ให้หยุดเทตามตำแหน่งที่ทำให้โครงสร้างเสียความแข็งแรงน้อยที่สุด

• ใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท อาทิ ท่อปล่อยคอนกรีต (Dropchute) :

- ใช้เทคอนกรีตโดยตรงลงไปยังด้านล่างของแบบหล่อในแนวตั้งโดยป้องกันการแยกตัวได้ และป้องกันคอนกรีตหกหล่นข้างแบบหล่อ
- ควรมิด้านบนที่บานออกและใหญ่เพียงพอ ซึ่งจะช่วยให้คอนกรีตได้โดยไม่หกหล่น และมีขนาดหน้าตัดที่สามารถใส่เข้าไปในแบบหล่อได้

• ข้อควรระวัง : ไม่ควรเทคอนกรีตตกกระทบกับแบบหล่อ เหล็กเสริม หรือสิ่งที่จะฝังติดในคอนกรีต เพราะอาจทำให้คอนกรีตแยกตัวได้

● การเทคอนกรีตที่ใช้เทคนิคพิเศษ

งานคอนกรีตในปัจจุบัน มีวิธีการเทที่ใช้เทคนิคพิเศษ เช่น การใช้แบบหล่อเคลื่อนที่ (Slipforming), และการเทคอนกรีตใต้น้ำ (Underwater Concreting) การใช้ท่ออัดฉีด (Shotcreting), เทคนิคคอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete หรือ RCC) เป็นต้น

การใช้แบบหล่อเคลื่อนที่ (Slipforming)

- เป็นวิธีการเทคอนกรีตและการเขย่าแบบอย่างต่อเนื่อง ที่นิยมใช้กับโครงสร้างที่มีหน้าตัดแบบเดียวตลอดความสูงหรือความยาวมากๆ
- ข้อดี คือ ผิวคอนกรีตมีคุณภาพสูง สวยงาม ไม่มีรอยต่อ, ก่อสร้างได้รวดเร็ว, และประหยัดค่าแรงและแบบหล่อในระยะยาว
- ใช้แบบหล่อพิเศษ ประเภทแบบหล่อเคลื่อนที่ (Slipform) ซึ่งมีทั้งแบบหล่อเคลื่อนที่แนวตั้งและแบบหล่อเคลื่อนที่แนวราบ
- แบบหล่อเคลื่อนที่แนวตั้ง (Vertical Slipform) จะเคลื่อนที่อย่างช้าๆ รอให้คอนกรีตมีกำลังเพียงพอ เพื่อรองรับคอนกรีตใหม่ที่กำลังอยู่อย่างต่อเนื่อง นิยมใช้ก่อสร้างโครงสร้าง เช่น ปล่องลิฟต์ของอาคารสูง, ไซโล, ตอม่อสะพานสูงๆ, ปล่องไฟ, หอคอย, กำแพง, และผนังส่วนนอกของอาคาร เป็นต้น
- แบบหล่อเคลื่อนที่แนวราบ (Horizontal Slipform) นิยมใช้ก่อสร้างโครงสร้าง เช่น ดาดคอง หรือบริเวณที่ลาดเอียง, ถนน, พื้นอุโมงค์, การผลิตพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปหน้าตัดกลวง, ทางเท้า, และราวสะพาน (Parapet) เป็นต้น
- ใช้คอนกรีตที่มีความสามารถตกได้ต่ำ มีปริมาณวัสดุละเอียดสูงเพียงพอ และจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณสมบัติของคอนกรีตเป็นอย่างดี
- จำเป็นต้องทำการทดลองก่อนการเริ่มต้นเลื่อนแบบหล่อ เพื่อกำหนดค่าความสามารถตกได้ เวลาการก่อตัว และกำลังอัด และควรทราบความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของคอนกรีตและการปรับส่วนผสมคอนกรีตกับอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง เพื่อหาความเร็วของการเลื่อนแบบที่เหมาะสม

การใช้ท้ออัดฉีด (Shotcreting)	- ใช้เครื่องฉีดหรือพ่นคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ที่ละน้อยด้วยความเร็วสูง สู่บริเวณที่ต้องการ จากนั้นต้องทำการตกแต่งผิวหน้าอีกครั้ง - โดยทั่วไป ใช้กับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความหนาไม่เกิน 15 เซนติเมตร และเหมาะกับการก่อสร้างคุณสมบัติพิเศษเฉพาะงาน เช่น ทำดาต (Lining) อุโมงค์, ห้องใต้ดิน, โครงสร้างเปลือกบาง, โครงสร้างที่มีส่วนโค้งเว้ามากๆ, โครงสร้างที่ต้องการกันไฟ หรือทนต่อความร้อน, และโครงสร้างที่ต้องการนำหนักเบา เป็นต้น - มี 2 ประเภท คือ กระบวนการผสมแห้ง (Dry-Mix Process) และ กระบวนการผสมเปียก (Wet-Mix Process) - ควรมีการทดลองที่หน่วยงาน และทดสอบคุณภาพ Shotcrete ก่อนใช้งานจริง
--------------------------------------	---



รูปที่ 13-36 เทคนิคการใช้ท้ออัดฉีด (Shotcreting) ในการเทผนัง

เทคนิคคอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete หรือ RCC)	- เป็นเทคนิคการทำคอนกรีตแห้งมาก ที่อัดแน่นโดยการโรยบดอัด - คอนกรีตมีส่วนผสมคล้ายกับคอนกรีตทั่วไปแต่ใช้ปริมาณน้ำน้อยกว่ามาก คอนกรีตสดมีลักษณะเนื้อแห้งมาก ไม่มีค่ายุบตัว - เทและอัดแน่นคอนกรีตโดยใช้เครื่องมือและเทคนิคคล้ายกับการก่อสร้างถนนลาดยางแล้วบ่มด้วยน้ำ เพื่อให้คอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีความแข็งแรง ความทนน้ำ และความคงทนตามข้อกำหนดไว้ - ใช้ในงานก่อสร้าง 2 โครงสร้างหลัก ได้แก่ - เขื่อนคอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete Dams หรือ RCD) - ถนนคอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete Pavements หรือ RCCP) - ลานคอนกรีต - ถนนที่มีสภาพการจราจรที่มีความเร็วต่ำถึงปานกลาง - ใช้เป็นชั้นรองพื้นทางร่วมกับชั้นคอนกรีตกับหน้าหรือชั้นลาดยางกับหน้าสำหรับถนนที่มีสภาพการจราจรที่มีความเร็วสูง - ข้อดี คือ ความประหยัด และการลดเวลาการก่อสร้างลงได้อย่างมาก เนื่องจากใช้เครื่องจักรกลเกือบทั้งหมด จึงใช้แรงงานน้อย และมีขั้นตอนการทำงานที่ง่ายกว่าวิธีการก่อสร้างโดยทั่วไป - นิยมใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และสารปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย เป็นวัสดุเชื่อมประสานร่วมกันในส่วนผสมคอนกรีต เพราะจะช่วยให้การบดอัดแน่นเพียงพอมากขึ้น และที่สำคัญสำหรับงานเขื่อนคอนกรีต คือ การช่วยลดปริมาณความร้อนสะสมในตัวเขื่อน จึงช่วยป้องกันการแตกร้าวได้
--	---



ข) เนื้อคอนกรีตสดของ RCC มีลักษณะแห้งมาก



ก) สภาพการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัด

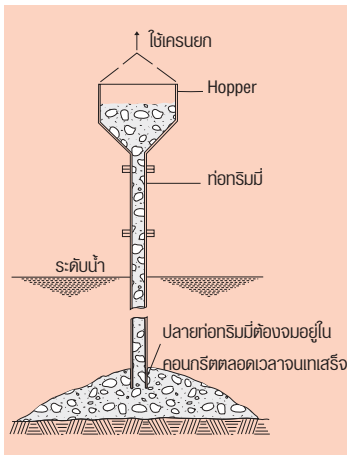


ค) การเกลี่ย RCC เป็นชั้น ๆ ด้วยรถมอเตอร์เกรดเดอร์



ง) การบดอัด RCC ให้แน่นด้วยรถบดล้อเหล็ก

รูปที่ 13-37 การใช้เทคนิคคอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete หรือ RCC) ในการก่อสร้างเขื่อน



รูปที่ 13-38 การเทคอนกรีตใต้น้ำ
(Underwater Concreting)



รูปที่ 13-39 ผิวคอนกรีตเป็นรูพรอง
(Honeycomb)

การเทคอนกรีตใต้น้ำ (Underwater Concreting)

- นิยมใช้วิธีการเทคอนกรีตผ่านท่อกริมมี (Tremie Method) อย่างช้าๆ เพื่อหล่อส่วนโครงสร้างที่อยู่ใต้น้ำ หรืออาจใช้วิธีการบ่มคอนกรีตผ่านท่อบ่มก็ได้
- วิธีนี้ใช้ในงานก่อสร้างส่วนโครงสร้างที่อยู่ใต้น้ำ เช่น ตอม่อสะพาน, ท่าเรือ, ท่อคอนกรีตใต้น้ำ, เขื่อน, ฐานรากในแม่น้ำหรือทะเล, เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ และใช้ในส่วนโครงสร้างเช่น Cofferdam หรือ Caisson Seal
- วิธีใช้ท่อกริมมีทำได้โดยการเทคอนกรีตให้ไหลลงผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20-30 เซนติเมตร ในแนวตั้ง ยกข้อขึ้นทีละเล็กน้อย คอนกรีตใหม่จะเข้าไปแทนที่คอนกรีตที่อยู่ใต้ปากท่อทำให้เกิดการไหลลงสำคัญคือคอนกรีตใต้น้ำจะต้องไม่สัมผัสกับน้ำโดยตรง และต้องแน่ใจว่าปลายท่อฝังอยู่ในคอนกรีตตลอดเวลา
- ต้องใช้คอนกรีตที่มีความสามารถได้สูง ส่วนผสมควรจะมีการเกาะยึดกันดี ไม่แยกตัว โดยทั่วไปใช้ปริมาณปูนซีเมนต์และทรายมาก ขนาดหินใหญ่ไม่เกิน 3/4 นิ้ว สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมทั้งมีการใช้น้ำยาช่วยเพิ่มความสามารถได้ด้วย

13.7 การอัดแน่นคอนกรีต

การอัดแน่นคอนกรีต (Compacting หรือ Consolidation) คือ กระบวนการไล่ฟองอากาศ (Entrapped Air) ออกจากคอนกรีตสดที่เทแล้วให้มากที่สุด ทำให้อนุภาคของแข็งในคอนกรีตเข้าใกล้กัน เพื่อให้คอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีช่องว่างน้อยที่สุดหรือมีความหนาแน่นสูงสุดเท่าที่เป็นไปได้

ผลของการอัดแน่นคอนกรีตที่ดี จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ ไม่แยกตัวไม่เป็นรูพรอง รวมถึงการป้องกันไม่ให้แบบหล่อ เหล็กเสริม และสิ่งที่จะฝังติดเคลื่อนที่ การยึดเหนี่ยวที่ดีระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต และระหว่างคอนกรีตชั้นต่าง ๆ มีรอยแตกร้าวน้อยที่สุด มีผิวเรียบสม่ำเสมอ ไม่มีรอยตำหนิ มีกำลัง ความคงทน และมีอายุใช้งานได้นาน

โดยปกติ ถ้าไม่มีการอัดแน่นคอนกรีตสดภายหลังการเท จะทำให้เกิดรูพรอง (Honeycomb) และช่องว่างอากาศ (Entrapped Air) ขึ้น เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะมีเนื้อไม่สม่ำเสมอ มีกำลังต่ำ มีความพรุนสูง มีความทึบน้ำต่ำ มีแรงยึดเหนี่ยวกับเหล็กเสริมต่ำ มีความคงทนต่ำ และมีผิวไม่สวย

● วิธีการอัดแน่นคอนกรีต

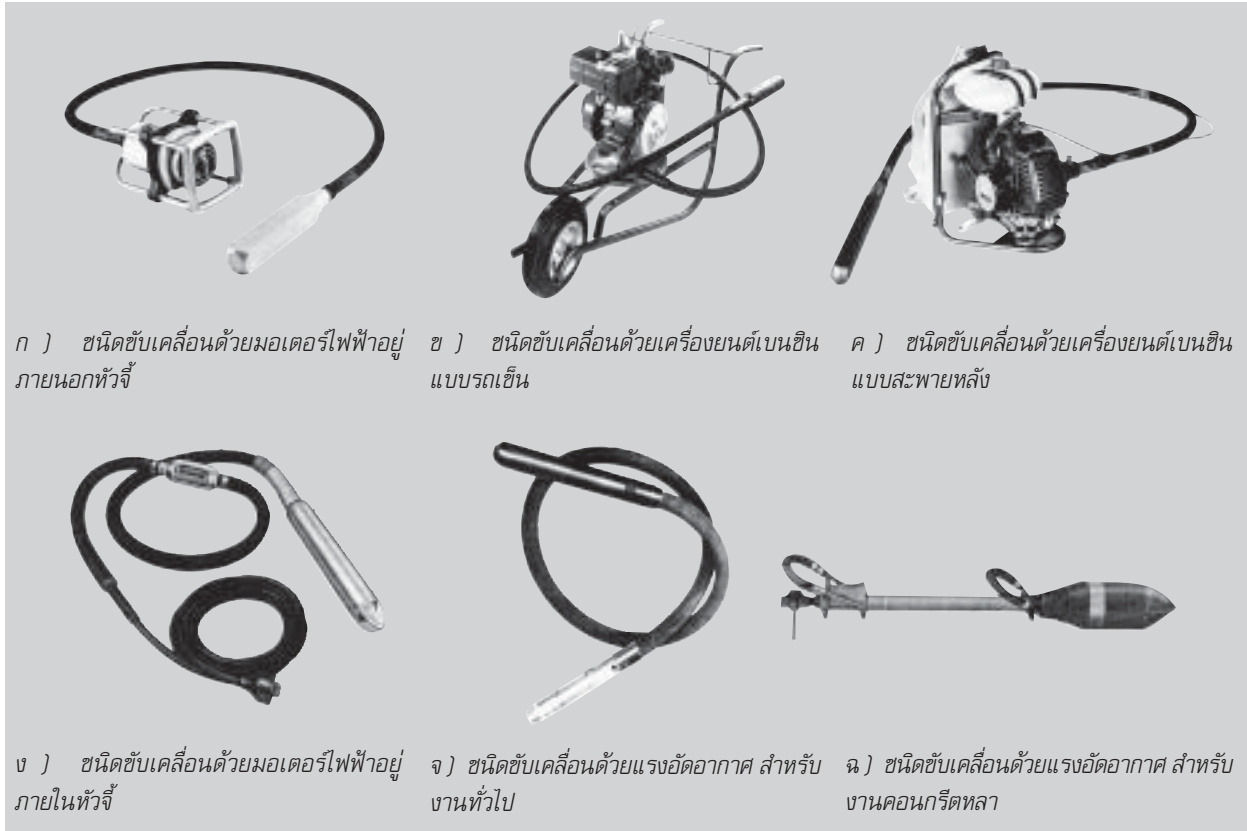
ควรเหมาะสมกับความสามารถที่ได้ของคอนกรีตสด, เครื่องมือที่ใช้ล่าเสียงและเท, อัตราการเทและวิธีการเท, ขนาดและรูปร่างของแบบหล่อ, ความหนาแน่นของเหล็กเสริม และสิ่งที่จะฝังติดในแบบหล่อ โดยอาจแบ่งวิธีการอัดแน่นเป็น 5 วิธี ได้แก่

1. การอัดแน่นคอนกรีตโดยใช้อุปกรณ์ที่ใช้มือ

เหมาะสำหรับการเทคอนกรีตสดที่ค่อนข้างเหลวในปริมาณน้อย อัดแน่นโดยใช้อุปกรณ์ค้ำหรือกระทุ้งบริเวณรอบ ๆ เหล็กเสริมและสิ่งที่จะฝังติดในคอนกรีต

2. การอัดแน่นคอนกรีตโดยใช้เครื่องเขย่าคอนกรีตแบบภายใน หรือเครื่องจี้เขย่าคอนกรีต (Internal Vibrators)

เครื่องจี้เขย่าคอนกรีตทั้งหมดในปัจจุบันเป็นชนิดหมุน ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายประกอบด้วยหัวจี้ Poker ซึ่งต่อสายมาจากมอเตอร์ วิธีนี้จะจุ่มหัวจี้ลงในคอนกรีตสด โดยหัวจี้จะปล่อยคลื่นความถี่ที่เหมาะสม โดยทั่วไปใช้ความถี่ 70 - 200 Hz ทำให้คอนกรีตสดถูกอัดแน่นในแบบหล่อ บางทีเรียกเครื่องจี้เขย่าแบบนี้ว่า Poker Vibrator หรือ Immersion Vibrator



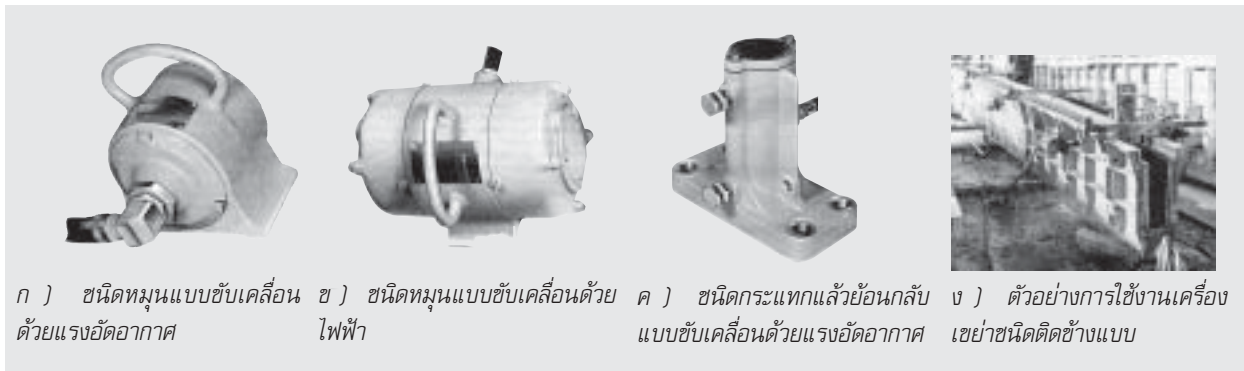
รูปที่ 13-40 เครื่องเขย่าคอนกรีตแบบภายในหรือเครื่องจี้เขย่าคอนกรีตชนิดต่าง ๆ 9

3. การอัดแน่นคอนกรีตโดยใช้เครื่องเขย่าคอนกรีตแบบภายนอก หรือเครื่องเขย่าคอนกรีตชนิดติดตั้งแบบ (External Vibrators)

เครื่องเขย่าแบบนี้จะติดอยู่กับแบบหล่อ ซึ่งวางอยู่บนจุดวางที่ยึดหยุ่นได้ ดังนั้นทั้งแบบหล่อและคอนกรีตจะถูกเขย่าไปพร้อม ๆ กัน ผลคือ คอนกรีตจะถูกอัดแน่นโดยการเขย่าของแบบหล่อ ซึ่งแบบหล่อประเภทนี้จะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรง ไม่บิดงอหรือมีการรั่วไหลของน้ำปูน

เครื่องเขย่าประเภทนี้จะใช้ความถี่ในช่วง 50 - 150 Hz ส่วนมากมักใช้ในงานคอนกรีตอัดแรง หรือโครงสร้างขนาดบาง ที่มีรูปร่างและความหนาไม่เหมาะสมที่จะใช้เครื่องเขย่าคอนกรีตแบบภายใน

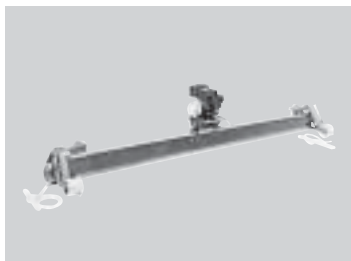
การทำงานต้องเทคอนกรีตใส่แบบเป็นชั้นบาง ๆ เนื่องจากฟองอากาศไม่สามารถถูกขับออกจากคอนกรีตที่มีความหนามากเกินไป และตำแหน่งของเครื่องเขย่าอาจเปลี่ยนแปลงได้ในขณะเทคอนกรีต



รูปที่ 13-41 เครื่องเขย่าคอนกรีตแบบภายนอกหรือเครื่องเขย่าคอนกรีตชนิดติดข้างแบบชนิดต่าง ๆ และตัวอย่างการใช้งาน 9



รูปที่ 13-42 โต๊ะเขย่าคอนกรีต 9



ก) Vibrating Screed ชนิดคานเดี่ยว



ข) Vibrating Screed ชนิดคานคู่

รูปที่ 13-43 เครื่องเขย่าชนิดวางบนผิวคอนกรีต 9

4. การอัดแน่นคอนกรีตโดยใช้โต๊ะเขย่าคอนกรีต (Vibrating Table)

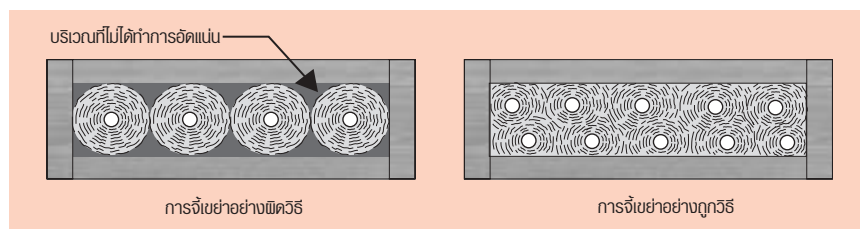
โต๊ะเขย่าเป็นวิธีการอัดแน่นคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับการทำคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้คอนกรีตสดที่แห้งมาก โดยมีประโยชน์ในแง่ที่การเขย่าทำได้ง่ายและสะดวก วิธีการอาจพิจารณาได้เหมือนกับแบบหล่อยึดติดกับเครื่องเขย่า ซึ่งตรงข้ามกับเครื่องเขย่าคอนกรีตแบบภายนอก แต่หลักการในการเขย่าคอนกรีตและแบบหล่อไปพร้อม ๆ กันจะเหมือนกัน ความถี่ที่ใช้อยู่ในช่วง 25 - 120 Hz

5. การอัดแน่นคอนกรีตโดยใช้เครื่องเขย่าคอนกรีตประเภทอื่น ๆ

เครื่องเขย่าคอนกรีตประเภทอื่น ๆ มีอยู่หลายประเภทด้วยกัน อาทิเช่น เครื่องเขย่าชนิดวางบนผิวคอนกรีต ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการก่อสร้างแผ่นพื้น, รางบดอัดเหมาะสำหรับการอัดแน่นผิวทางในการทำถนน และการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัด, เครื่องเขย่าชนิดปั่น นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์ท่อคอนกรีต เสาเข็มกลมแรงเหวี่ยง (Spun Piles) และผลิตภัณฑ์ที่มีหน้าตัดกลวงอื่น ๆ

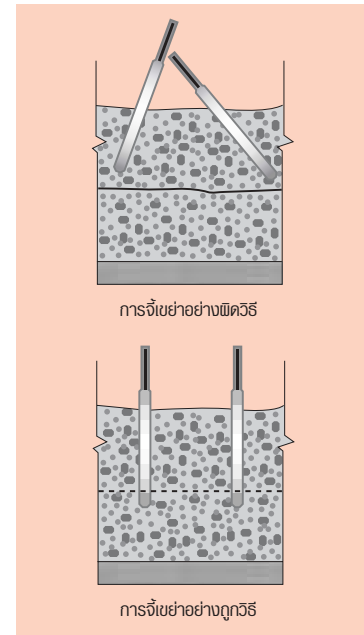
● วิธีการใช้เครื่องเขย่าคอนกรีตแบบภายใน

- ตำแหน่งและระยะห่างในการจุ่มหัวจี้ : ควรกำหนดระยะห่างการจุ่มที่เหมาะสม เพื่อให้คอนกรีตทุกบริเวณในแบบหล่อได้รับการอัดแน่น ระยะห่างในการจุ่มหัวจี้ขึ้นอยู่กับขนาดของหัวจี้และรัศมีทำการหรือระยะห่างจากหัวจุ่มที่คอนกรีตสดยังสามารถได้รับการอัดแน่นเป็นอย่างดี



รูปที่ 13-44 การจุ่มเขย่าคอนกรีต ควรกำหนดระยะห่างการจุ่มที่เหมาะสม เพื่อให้คอนกรีตทุกบริเวณในแบบหล่อได้รับการอัดแน่น

- **ทิศทางการจุ่มหัวจี้:** ควรจุ่มหัวจี้ในแนวตั้งลงไปตลอดความลึกของชั้นการเทคอนกรีตสด และทะลุผ่านถึงชั้นการเทชั้นล่างซึ่งยังไม่เริ่มก่อตัว เพื่อให้เนื้อคอนกรีตทั้งสองชั้นเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน
- **ระยะเวลาการจุ่มหัวจี้:** เวลาในการจี้เขย่าที่เหมาะสมเพื่อให้คอนกรีตได้รับการอัดแน่นเป็นอย่างดี สังเกตได้จากพฤติกรรมของคอนกรีตสดในขณะจี้เขย่า อาทิ การจมลงของหินหรือกรวดเม็ดใหญ่, จี้เขย่าจนผิวหน้าคอนกรีตได้ระดับหรือมีลักษณะเรียบ, เกิดฟิล์มของมอร์ตาร์บาง ๆ บนผิวหน้าคอนกรีต, สังเกตเห็นซีเมนต์เพสต์บริเวณรอยต่อระหว่างคอนกรีตกับแบบหล่อ, และไม่มีสังเกตเห็นฟองอากาศขนาดใหญ่ลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าคอนกรีตอีกต่อไป โดยปกติการจี้เขย่าจะให้ผลที่ต้องการภายใน 5 - 15 วินาที
- **การถอนหัวจี้กลับขึ้นมา :** เมื่อจี้เขย่าแล้วเสร็จควรถอนหัวจี้กลับขึ้นมาอย่างช้า ๆ เพื่อให้ช่องเปิดที่เกิดจากการใช้หัวจี้ปิดตัวเองได้สนิทไม่มีฟองอากาศขังอยู่



รูปที่ 13-45 ควรจุ่มหัวจี้ในแนวตั้งลงไปตลอดความลึกของชั้นการเทคอนกรีตสด และทะลุผ่านถึงชั้นการเทชั้นล่าง

ขนาดของหัวจี้ (เซนติเมตร)	รัศมีทำการ (เซนติเมตร)	อัตราการจี้เขย่า (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	การใช้งาน
2.0 - 3.0	8.0 - 15.0	0.8 - 2	โครงสร้างบางๆ หรือในที่ทำงานยาก ที่ใช้คอนกรีตที่มีค่ายุบตัวมากกว่า 5 เซนติเมตร ในบางครั้งจะใช้ร่วมกับเครื่องจี้เขย่าขนาดใหญ่ในบริเวณที่มีเหล็กเสริมก่อ หรืออุปสรรคที่ยากต่อการอัดแน่น
3.5 - 4.0	13.0 - 25.0	2 - 4	สำหรับเสา กำแพง ที่ใช้คอนกรีตที่มีค่ายุบตัวมากกว่า 5 เซนติเมตร
5.0 - 7.5	18.0 - 35.0	3 - 8	โครงสร้างขนาดใหญ่ที่มีเหล็กเสริมไม่มากนักที่ใช้คอนกรีตที่มีค่ายุบตัวตั้งแต่ 2.5 เซนติเมตรขึ้นไป

ตารางที่ 13-6 สรุปรูปขนาดที่เหมาะสมของ Poker สำหรับงานแต่ละประเภท

● การจี้เขย่าคอนกรีตซ้ำ (Revibration)

การจี้เขย่าเพื่อให้คอนกรีตอัดแน่นที่กล่าวมาทั้งหมด เป็นการจี้เขย่าคอนกรีตทันทีทันใดหลังการเทคอนกรีต เพื่อจะทำให้คอนกรีตอัดตัวกันแน่น ก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว แต่เพื่อให้มั่นใจว่าเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวคอนกรีต 2 ผิว คอนกรีตด้านล่างควรได้รับการเขย่าซ้ำ (Revibrated) ซึ่งเป็นที่สงสัยกันว่าอาจทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง

ในความเป็นจริง การเขย่าซ้ำที่ 1 - 2 ชั่วโมง หลังจากการเทคอนกรีต จะช่วยเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตถึง 15% เนื่องจากน้ำที่ถูกซังไว้จะถูกขับออกจากกระบวนการเขย่าซ้ำนี้ด้วยเหตุผลเดียวกัน แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมจะปรับปรุงขึ้นอย่างมาก และยังช่วยลดการแตกร้าวด้วย ถึงแม้ว่าจะมีประโยชน์ กระบวนการจี้เขย่าซ้ำกลับไม่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะเป็นการเพิ่มงานอีกขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุน และถ้าการจี้เขย่าซ้ำเข้าไป กระบวนการนี้อาจก่อให้เกิดคอนกรีตเสียหายได้



13.8 การแต่งผิวหน้าคอนกรีต



รูปที่ 13-46 การแต่งผิวหน้าคอนกรีต

การแต่งผิวหน้าคอนกรีต (Finishing) คือ การทำผิวหน้าคอนกรีตให้ประสานเป็นเนื้อเดียวกันกับเนื้อคอนกรีตภายในที่อัดแน่นแล้วในแบบหล่อในขณะที่คอนกรีตยังไม่เริ่มแข็งตัว เพื่อให้ผิวหน้าคอนกรีตมีความสวยงาม มีความแข็งแรงของผิวใกล้เคียงหรืออาจมากกว่าเนื้อคอนกรีตภายใน และมีความเรียบหรือลักษณะผิวคอนกรีตเหมาะสมกับการใช้งาน หากมีน้ำปูนลอยอยู่บนผิวหน้าคอนกรีต ควรดูดซับน้ำออกก่อน การโรยผงปูนซีเมนต์หรือปูนทรายลงบนผิวหน้าเพื่อดูดซับน้ำส่วนเกินออก อาจทำให้ผิวหน้ากะเทาะออกมาเป็นฝุ่นหรือเกิดรอยแตกกลายงาเนื่องจากการหดตัวได้

● วิธีการแต่งผิวหน้าคอนกรีต

การแต่งผิวหน้าคอนกรีตอย่างถูกต้องนั้น ทำได้โดยการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิวคอนกรีต ได้แก่

- **อุปกรณ์และเครื่องมือแต่งผิวหน้า** : เลือกใช้ชนิดอุปกรณ์และเครื่องมือที่เหมาะสมกับลักษณะงานคอนกรีต และตรวจสอบสภาพให้พร้อมใช้งาน
- **เวลาในการแต่งผิวหน้า** : ภายหลังการอัดแน่นคอนกรีตแล้ว จำเป็นต้องยืดเวลาการแต่งผิวหน้าคอนกรีตออกไป จนกระทั่งสังเกตเห็นไม่พบน้ำเยิ้มอยู่บนผิวหน้าคอนกรีตอีกต่อไป หรืออาจมีความจำเป็นต้องเอาน้ำออกจากผิว แล้วจึงค่อยทำการแต่งผิวหน้าก่อนคอนกรีตเริ่มแข็งตัว โดยเวลาที่ยืดออกไปนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาระเหือดของน้ำที่เยิ้มอยู่บนผิวคอนกรีต
- **ข้อควรระวัง** : ไม่ควรเติมน้ำ เพื่อทำให้คอนกรีตเหลวและทำการแต่งผิวหน้าได้ง่ายขึ้น เพราะเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะทำให้ผิวหน้าคอนกรีตมีความแข็งแรงลดลง และเกิดเป็นชั้นหรือแผ่นมอร์ตาร์บาง ๆ ที่อ่อนแอ ที่เรียกว่า “Laitance” ขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ผิวหน้าคอนกรีตหลุดล่อนได้ในระหว่างการใช้งาน

ผลกระทบของการแต่งผิวหน้าคอนกรีตเร็วเกินไป หรือการแต่งผิวหน้าคอนกรีตในขณะที่ยังมีน้ำเยิ้มอยู่ จะทำให้ผิวหน้าคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้วมีความแข็งแรงลดลง เกิดการแตกร้าวหรือหลุดล่อนได้ง่าย

ผลกระทบของการแต่งผิวหน้าคอนกรีตช้าเกินไป อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการฟองปุดและหลุดล่อนเป็นชั้นบาง ๆ ของผิวหน้าคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ภายหลังจากการแต่งผิวหน้าแล้วเสร็จไม่นานนัก

มาตรฐานอ้างอิง

- มอก. 213-2520 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ
- E.I.T.Standard 1014-46 : ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต, คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- ASTM C 94 : 2004 : Standard Specification for Ready-Mixed Concrete

เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, “คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 บริษัทปูนซิเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, “10 ขั้นตอนในการทำคอนกรีตที่ดี ตอนที่ 1”, 2546.
- 3 บริษัทปูนซิเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, “10 ขั้นตอนในการทำคอนกรีตที่ดี ตอนที่ 2”, 2546.
- 4 พิกพ สุนทรสมัย, “วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.
- 5 วินิต ช่อวิเชียร, “คอนกรีตเทคโนโลยี”.
- 6 เอกสารวิชาการของคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด, 2545.
- 7 เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, “แบบหล่อคอนกรีต”.
- 8 ACI Committee 304, “ACI 304R-00 : Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete”, 2002.
- 9 ACI Committee 309, “ACI 309R-96 : Guide for Consolidation of Concrete”, 2002.
- 10 ACI Committee 309, “ACI 309.2R-98 : Identification and Control of Visible Effects of Consolidation on Formed Concrete Surfaces”, 2002.
- 11 ACI Committee 506, “ACI 506R-90 : Guide to Shotcrete”, 2002.
- 12 A. M. Neville, “Properties of Concrete”, Fourth Edition, 1999.
- 13 P. Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, “Concrete Structure, Properties, and Materials”, Second Edition, 1993.
- 14 R. G. Batterham, “Slipform Concrete”.

การบ่ม และการถอดแบบหล่อ คอนกรีต

บทที่

14



รูปที่ 14-1 การบ่มตัวอย่างทดสอบคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ

บทคัดย่อ

การบ่มคอนกรีต คือ วิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้คอนกรีตมีการพัฒนาคุณสมบัติด้านกำลังและความคงทน และเพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต โดยการรักษาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม และลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

คอนกรีตจำเป็นต้องได้รับการบ่มทันทีหลังจากเสร็จสิ้นการแต่งผิวหน้าและคอนกรีตเริ่มแข็งตัวแล้ว และควรบ่มต่อไปจนกระทั่งคอนกรีตมีกำลังตามต้องการ หลักการทั่วไปของการบ่มที่ดี จะต้องสามารถป้องกันคอนกรีตไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้นไม่ว่าจะด้วยความร้อนหรือลม ไม่ให้คอนกรีตร้อนหรือเย็นมากเกินไป ไม่ให้สัมผัสกับสารเคมีที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต และไม่ถูกชะล้างด้วยน้ำฝน หลังจากเทคอนกรีตเสร็จใหม่ ๆ

การถอดแบบหล่อคอนกรีต และคายันออกได้ ก็ต่อเมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดเพียงพอที่จะสามารถรับน้ำหนักของคอนกรีตและน้ำหนักอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการก่อสร้างต่อไป แต่เนื่องจากเวลาถอดแบบหล่อคอนกรีตขึ้นอยู่กับส่วนผสมคอนกรีตและการบ่มคอนกรีตเป็นสำคัญ ดังนั้นการถอดแบบได้เร็วเพื่อให้นำแบบไปใช้ซ้ำหลาย ๆ ครั้งนั้น จำเป็นต้องควบคุมคุณภาพคอนกรีตให้มีความแข็งแรงเริ่มแรกสูงเพียงพอ และในขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมให้มีความแข็งแรงที่อายุ 28 วัน ตามต้องการด้วย



14.1 การบ่มคอนกรีต



รูปที่ 14-2 การขาดการบ่มคอนกรีต หรือการบ่มล่าช้าเกินไป หรือการบ่มอย่าง ผิดวิธี เป็นสาเหตุหลักของการแตกร้าว (Plastic Shrinkage Crack) ของพื้น คอนกรีตในขณะที่กำลังแข็งตัวในสภาพ อากาศร้อนหรือมีลมพัดแรง

การบ่มคอนกรีต (Curing) คือ ชื่อเฉพาะของวิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชัน ของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลทำให้การพัฒนากำลังของคอนกรีตเป็นไป อย่างต่อเนื่อง วิธีการบ่มอาจทำได้โดยการให้น้ำแก่คอนกรีตหลังจากที่คอนกรีตเริ่มแข็งตัวแล้ว

วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต คือ

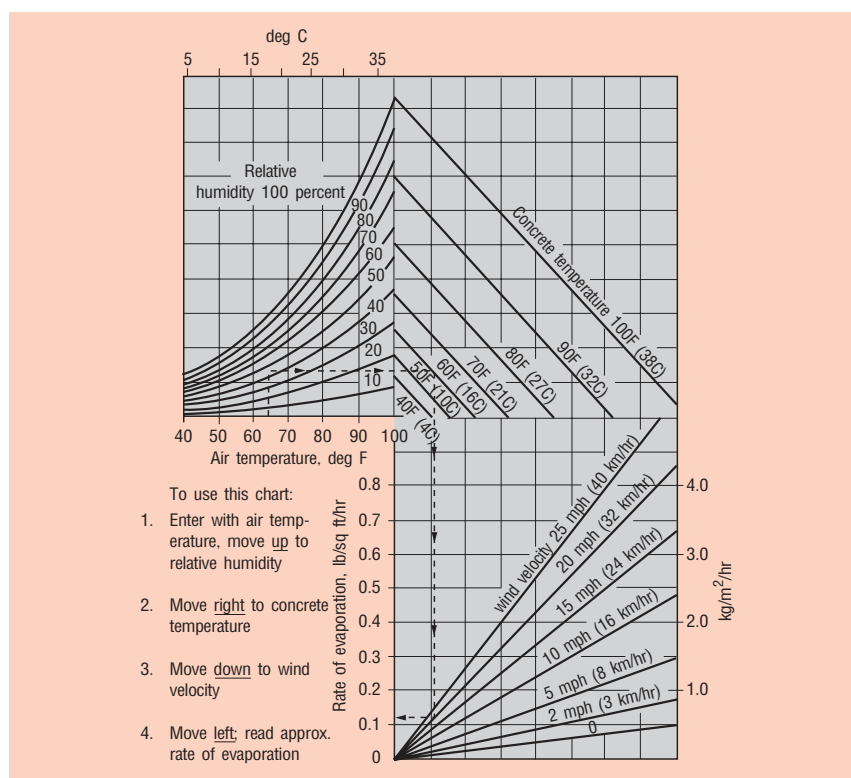
1. เพื่อให้คอนกรีตมีการพัฒนาคุณสมบัติด้านกำลังและความคงทน
2. เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต โดยเฉพาะในช่วงอายุเริ่มแรก โดยการรักษาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม และลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

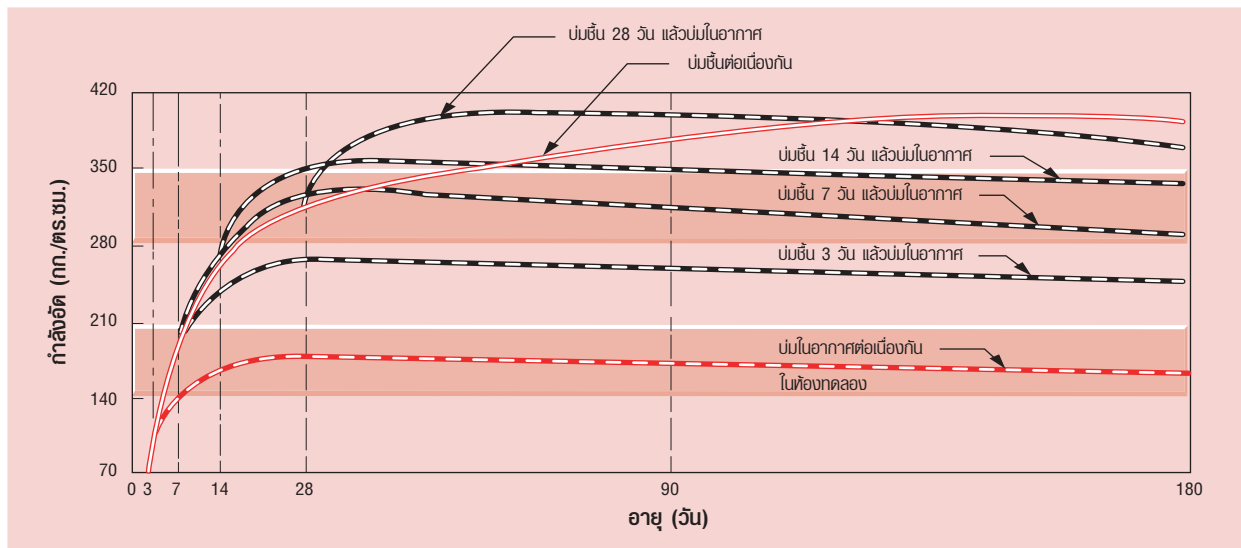
การบ่มอาจหมายถึงการควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตด้วย ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่ สูงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อันทำให้คุณภาพของคอนกรีตเพิ่ม สูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก อย่างไรก็ตามการเร่งนี้อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณสมบัติ ของคอนกรีตในระยะยาว

คอนกรีตจำเป็นต้องได้รับการบ่มทันทีหลังจากเสร็จสิ้นการแต่งผิวหน้าและ คอนกรีตเริ่มแข็งตัวแล้ว และควรบ่มต่อไปจนกระทั่งคอนกรีตมีกำลังตามต้องการ หลักการ ทัวไปของการบ่มที่ดี จะต้องสามารถป้องกันคอนกรีตไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้นไม่ว่าจะ ด้วยความร้อนหรือลม ไม่ให้คอนกรีตร้อนหรือเย็นมากเกินไป ไม่ให้สัมผัสกับสารเคมีที่จะ เป็นอันตรายต่อคอนกรีต และไม่ถูกชะล้างด้วยน้ำฝน หลังจากเทคอนกรีตเสร็จใหม่ ๆ

สิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดคอนกรีตได้รับความเสียหายในขณะที่ยังบ่มอยู่ เช่น การลั่นสะเทือน, การกระแทก, การรับน้ำหนักมากเกินไป, และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ อย่างมากในเวลาสั้น ๆ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอายุต้น ๆ ของคอนกรีต

รูปที่ 14-3 แผนภูมิแสดงวิธีการ ประมาณค่าอัตราการระเหยของน้ำ บริเวณผิวคอนกรีต โดยพิจารณาจากผล ของอุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิคอนกรีต, ความชื้นสัมพัทธ์, และความเร็วลม ที่มีต่ออัตราการระเหยของน้ำบริเวณผิว คอนกรีต โดยควรมีการป้องกันการ ระเหยของน้ำบริเวณผิวคอนกรีต เมื่อ คอนกรีตมีอัตราการระเหยเกิน 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง และ อาจมีการป้องกัน เมื่อมีค่าเกิน 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง





รูปที่ 14-4 ผลของการบ่มที่มีต่อกําลังอัดของคอนกรีต

14.2 กรรมวิธีการบ่ม

เราแบ่งกรรมวิธีการบ่มคอนกรีต ออกเป็น 2 ชนิด ตามสภาพอุณหภูมิที่ใช้บ่ม คือ

1. การบ่มที่อุณหภูมิปกติ
2. การบ่มที่อุณหภูมิสูง

รูปที่ 14-4 แสดงผลของการบ่มที่มีต่อกําลังอัดของคอนกรีตซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. กําลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันแรก ๆ ถ้าได้รับการบ่ม ซึ่งชี้ถึงความสำคัญของการบ่มในระยะแรก
2. กําลังอัดของคอนกรีตมีโอกาสเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หลังอายุ 28 วัน โดยอัตราการเพิ่มของกําลังอัดจะช้าลง แต่ก็ยังเพิ่มขึ้นตลอดเวลา หากได้รับการบ่มที่ดี
3. หากขาดความชื้น กําลังอัดของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นสักระยะหนึ่ง เพราะความชื้นที่เหลืออยู่ แต่หลังจากนั้นกําลังอัดจะไม่เพิ่มขึ้นอีก

จะเห็นได้แล้วว่า เราควรบ่มคอนกรีตให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ นั่นคือ บ่มจนกว่าคอนกรีตมีกําลังสูงตามที่ต้องการ ในทางปฏิบัติมักไม่สามารถบ่มคอนกรีตได้นานนัก ทั้งนี้ก็เพราะข้อจำกัดในเรื่องกำหนดการก่อสร้างและค่าใช้จ่าย จากรูป รูปที่ 14-4 แสดงให้เห็นว่า การบ่มขึ้นถึง 7 วัน ทำให้เราสามารถได้กําลังอัดของคอนกรีตสูงทัดเทียมกับกําลังอัดคอนกรีตที่บ่มและทดสอบในสภาพขึ้นถึง 28 วัน ตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา แนะนำให้ใช้เวลาบ่มขึ้น 7 วัน สำหรับโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป หรือเวลาที่จำเป็นเพื่อให้ได้กําลัง 70% ของกําลังอัดหรือกําลังตัดที่กำหนดแล้วแต่ว่าเวลาไหนน้อยกว่ากัน แต่สำหรับงานคอนกรีตหนา เช่น ฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ เราจำเป็นต้องบ่มนานถึงอย่างน้อย 2 สัปดาห์

ในกรณีที่การบ่มต้องหยุดชะงักไประยะเวลาหนึ่งด้วยเหตุผลใด ๆ ก็ตาม เมื่อคอนกรีตได้รับความชื้น ปฏิกริยาไฮเดรชันก็สามารถเกิดขึ้นต่อไป ทำให้กําลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นต่อไปอีก



14.3 การบ่มที่อุณหภูมิปกติ

สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. การบ่มคอนกรีตโดยการเพิ่มน้ำ
2. การบ่มคอนกรีตโดยการป้องกันการสูญเสียความชื้น

1. การบ่มคอนกรีตโดยการเพิ่มน้ำ :

- วิธีนี้เป็นการเพิ่มน้ำหรือความชื้นให้ผิวหน้าคอนกรีตโดยตรงในระยะแรกที่คอนกรีตเริ่มแข็งตัวอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการบ่มคอนกรีตที่กำหนด
- ควรคำนึงถึงความสามารถในการจัดหา น้ำ, แรงงาน, และวัสดุที่ใช้บ่ม
- น้ำที่ใช้บ่ม ควรมีคุณภาพสอดคล้องตามมาตรฐาน ไม่มีสารเจือปนที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือทำให้ผิวคอนกรีตเปลี่ยนสี และหลีกเลี่ยงการใช้น้ำบ่มที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าคอนกรีตเกิน 10°C เพราะจะทำให้ผิวคอนกรีตเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างทันทีทันใดและเกิดการแตกร้าวได้ (Thermal Shock)
- วิธีนี้นอกจากจะเป็นวิธีการบ่มที่ดีแล้ว ยังสามารถช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวของคอนกรีตลงด้วย จึงเหมาะกับงานคอนกรีตในอากาศร้อน
- การบ่มแบบนี้ทำได้หลายวิธี รวมทั้งมีข้อดีข้อเสีย สามารถสรุปได้ดัง ตารางที่ 14-1



ก) การขังน้ำหรือการแช่น้ำ



ข) การฉีดน้ำหรือการพรมน้ำ



ค) การใช้วัสดุเปียกขึ้นคลุม

รูปที่ 14-5 การบ่มคอนกรีตโดยการเพิ่มน้ำ

การขังน้ำหรือการแช่น้ำ (Ponding หรือ Immersion)				
โครงสร้าง	วิธีการ	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ	ข้อควรระวัง
• เหมาะกับโครงสร้างที่อยู่ในแนวราบ เช่น แผ่นพื้นทั่วไป, พื้นลาดฟ้า, พื้นสะพาน, ถนน, พื้นสนามบิน เป็นต้น	• ใช้ดินเหนียว หรือก่ออิฐ หรือวัสดุอื่นๆ ทำเป็นก้นบ่โดยรอบพื้นที่ที่จะบ่ม แล้วขังน้ำให้ผิวคอนกรีตเปียกอยู่อย่างต่อเนื่อง	• ทำได้ง่ายและสะดวก • ค่าใช้จ่ายน้อย • ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้ • ซ่อมแซมได้สะดวก รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย เช่น กำกับดินเหนียวและพังก็สามารถซ่อมได้ทันที	• ต้องหมั่นตรวจสอบดูรอยแตก ร้าวของก้นบ่อ เพื่อไม่ให้น้ำรั่วไหลออกจนผิวหน้าคอนกรีตแห้ง • ต้องเก็บทำความสะอาด ภายหลังการบ่ม • กรณีเป็นพื้นอาคารหลายชั้นจะไม่เหมาะ เพราะต้องก่อสร้างชั้นถัดไป (ยกเว้นพื้นลาดฟ้า)	• ไม่ควรใช้น้ำบ่มที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าคอนกรีตเกิน 10°C • ระดับระวางไม่ให้เกิดความเสียหายที่เกิดจากน้ำรั่วออกจากก้นบ่อ จนทำให้ผิวหน้าคอนกรีตแห้ง

ตารางที่ 14-1 การบ่มคอนกรีตโดยการเพิ่มน้ำ

การฉีดน้ำหรือการพรมน้ำ (Sprinkling หรือ Fog Spraying)				
โครงสร้าง	วิธีการ	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ	ข้อควรระวัง
• เหมาะกับโครงสร้างทั้งที่อยู่ในแนวราบและแนวตั้ง เช่น แผ่นพื้น, พัง, และกำแพง เป็นต้น	- ฉีดหรือพรมน้ำด้วยหัวฉีดหรือท่อยาง - ใช้งานได้ดีเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงกว่าจุดเยือกแข็ง - นิยมใช้ในการบ่มระยะเริ่มต้นเพื่อให้ผิวคอนกรีตที่เริ่มแข็งตัวขึ้นอยู่ตลอด	- ทำได้สะดวก - ได้ผลดี - ค่าใช้จ่ายน้อย - ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้	- ไม่เหมาะกับสถานที่ที่จัดหาได้ยาก - ไม่สะดวกกับการฉีดกับพังหรือกำแพง เพราะน้ำจะแห้งเร็ว - ถ้าอากาศร้อนจะแห้งเร็ว จึงต้องคอยหมั่นฉีดน้ำให้ชุ่มอยู่เสมอ	- ไม่ควรใช้น้ำบ่มที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าคอนกรีตเกิน 10°C - น้ำอาจชะผิวคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวดี ทำให้ผิวเสียหายได้

การใช้วัสดุเปียกชื้นคลุม (Water-Absorbent Materials)				
โครงสร้าง	วิธีการ	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ	ข้อควรระวัง
• เหมาะกับโครงสร้างที่อยู่ในแนวราบ เช่น แผ่นพื้น แต่ถ้าใช้กระสอบก็สามารถใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในแนวตั้ง เช่น พัง, และกำแพง ได้ด้วย	ใช้กระสอบ หรือวัสดุซึ่งอุ้มน้ำได้มากคลุมห่อหุ้มกันให้มาก ถ้าใช้ฟาง ขี้ส่อย หรือหญ้าแห้งควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 15 เซนติเมตร หรือใช้ทรายแทน แล้วฉีดน้ำให้ชุ่ม	- สามารถหาวัสดุมาใช้ได้ง่าย - ได้ผลดีมาก - ค่าใช้จ่ายไม่สูงเกินกว่าที่จะทำได้ - ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้	- ถ้าอากาศร้อนจะแห้งเร็ว จึงต้องคอยหมั่นฉีดน้ำให้ชุ่มอยู่เสมอ - ต้องพิจารณาแล้วว่าวัสดุที่ใช้เป็นอันตรายต่อผิวคอนกรีตหรือไม่	- ไม่ควรใช้น้ำบ่มที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าคอนกรีตเกิน 10°C - วัสดุที่ใช้บ่ม ต้องไม่มีสารที่เป็นอันตรายต่อผิวคอนกรีต

ตารางที่ 14-1 (ต่อ) การบ่มคอนกรีตโดยการเพิ่มน้ำ

2. การบ่มคอนกรีตโดยการป้องกันการสูญเสียน้ำ :

- วิธีนี้เป็นวิธีการป้องกันการความชื้นจากผิวคอนกรีตมิให้เล็ดลอดออกสู่ภายนอกโดยใช้วัสดุปิดทับ (Sealing Materials) ทำหน้าที่เป็นแผ่นคลุม หรือเป็นฟิล์มเคลือบผิวคอนกรีต เพื่อลดการสูญเสียน้ำที่ระเหยออกจากคอนกรีต
- วิธีการบ่มแบบนี้สามารถสรุปได้ดัง ตารางที่ 14-2



ก) การใช้สารเคลือบผิวคอนกรีตหรือน้ำยา ข) การใช้แผ่นพลาสติกคลุมบ่มคอนกรีต

รูปที่ 14-6 การบ่มคอนกรีตโดยการป้องกันการสูญเสียน้ำ



การใช้สารเหลวบ่มคอนกรีตหรือน้ำยาบ่มคอนกรีต (Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete)

น้ำยาบ่มคอนกรีต ควรมีคุณภาพตามข้อกำหนดของ มอก. 841 หรือ ASTM C 309 เป็นสารที่เคลือบบนผิวคอนกรีตซึ่งเมื่อแห้งแล้วจะเป็นแผ่นบาง (Membrane-Forming) สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำระหว่างการแข็งตัวของคอนกรีตในช่วงแรกได้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ประเภท 1 ใส, ประเภท 2 ใสเจือสี, และประเภท 3 สีขาว ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ระเหยได้ จะต้องปราศจากตัวทำละลายที่เป็นพิษ หรือกัดกร่อน ไม่ดูดกลืนน้ำ, และส่วนที่ละลาย (Vehicle) หรือส่วนที่เป็นของเหลว ซึ่งประกอบด้วยตัวทำละลาย และส่วนที่ไม่ระเหย ชนิดใดชนิดหนึ่ง ได้แก่ สิ่งนำที่มีส่วนที่ไม่ระเหยเป็นไฮดรอกไซด์ หรือไฮโปคลอไรต์, และสิ่งนำที่มีส่วนที่ไม่ระเหยเป็นเรซิน

โครงสร้าง	วิธีการ	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ	ข้อควรระวัง
เหมาะสำหรับโครงสร้างพิเศษต่างๆ ที่ต้องการใช้งานเร็ว เช่น พื้นสนามบิน, หลังคา, รางน้ำ, หรือหลังคาเปลือกบาง, ถนน, และอาคารสูง เป็นต้น	ใช้ฉีดพ่นเคลือบผิวคอนกรีตภายหลังการแต่งผิวเสร็จ และผิวคอนกรีตเริ่มแห้ง โดยควรฉีดพ่นซ้ำมากกว่า 1 ครั้ง	- ใช้งานได้สะดวก และรวดเร็ว - ได้ผลดีพอสมควร ถ้าใช้น้ำยาบ่มเป็นของเหลวและมีความเข้มข้นตามมาตรฐานของผู้ผลิต - ไม่ต้องคอยรดน้ำ - ใช้ในกรณีที่มีการบ่มด้วยวิธีการอื่นๆ ไม่ได้ผล	- เสียค่าใช้จ่ายสูง - ต้องจัดเตรียมเครื่องมือสำหรับการพ่นทุกครั้ง - ต้องใช้บุคลากรที่มีประสบการณ์ - น้ำยาบ่มอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่อยู่ในระยะใกล้เคียงได้	- หลีกเลี่ยงผิวคอนกรีตที่ยังคงมีการเยิ้มอยู่ หรือยังคงมีการระเหยของน้ำที่ผิวมากเกินไป - ไม่ควรฉีดพ่นน้ำยาบ่มลงบนเหล็กเสริม หรือที่รอยต่อของการก่อสร้าง เนื่องจากบริเวณดังกล่าวต้องการการยึดเกาะที่ดีกับคอนกรีตที่จะเทต่อไปภายหลัง

การใช้แผ่นพลาสติกคลุม (Plastic Film)

แผ่นพลาสติก ควรมีคุณภาพตามข้อกำหนดของ ASTM C 171 เป็นแผ่นโพลีเอทิลีน (Polyethylene Sheets) มีความหนาต่ำสุด 0.1 มิลลิเมตร เชื่อมกับ Water-Absorbent Fabric ซึ่งมีความหนาต่ำสุด 0.1 มิลลิเมตร เช่นเดียวกัน หรือเชื่อมกับผ้าใย หรือตาข่ายสังเคราะห์ หรือวัสดุดูดซับอื่นๆ โดย Water-Absorbent Fabric จะช่วยลดรอยแตกร้าวบนผิวคอนกรีตที่เกิดจากการใช้แผ่นพลาสติกผิวเรียบ และการใช้แผ่นพลาสติกสีขาวจะช่วยสะท้อนแสงและลดการดูดซับความร้อนได้ดีกว่า

โครงสร้าง	วิธีการ	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ	ข้อควรระวัง
เหมาะสำหรับโครงสร้างที่ไม่เน้นความสวยงามของผิวคอนกรีตมากนัก เช่น รางน้ำ, และถนน เป็นต้น	- วางแผ่นพลาสติกบนผิวคอนกรีตให้เรียบและหลวมกัน พนักด้วยเทป หรือใช้ทรายกับ - ใช้แผ่นพลาสติกสีขาวเมื่ออากาศร้อน (อุณหภูมิสูงกว่า 30°C)	- มีน้ำหนักเบา จึงใช้งานง่าย - ได้ผลดี ในการป้องกันน้ำระเหยออกจากคอนกรีต - ไม่ต้องรดน้ำให้ชุ่มอยู่ภายใน	- บางมาก ชำรุดง่าย (แต่ถ้าเสริมด้วยใยแก้ว จะทนมากขึ้น) - ต้องหาของหนัก เช่น ทรายกับเพื่อกันปลิว - เสียค่าใช้จ่ายสูง ถ้าใช้คลุมพื้นที่กว้างมากๆ	- จะต้องวางไม่ให้มีรอยเย็บ เพื่อลดรอยแตกร้าว รอยต่อต้องพนักให้ติดแน่น - อาจตรวจสอบความสามารถในการป้องกันการระเหยได้ โดยการลองรดน้ำใต้แผ่นพลาสติก

การใช้กระดาษกันน้ำซึมได้คลุม (Reinforced Paper)

กระดาษกันน้ำซึมได้ ควรมีคุณภาพตามข้อกำหนดของ ASTM C 171 มี 2 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นของกระดาษเหนียว (Kraft Paper) ยึดติดด้วย ชั้นของกาวประเภทยางมะตอย (Bituminous Adhesive) และเสริมความเหนียวด้วยใยแก้ว หรือใยชนิดอื่นๆ ที่มีใยหิน (Non-asbestos Fibers)

โครงสร้าง	วิธีการ	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ	ข้อควรระวัง
นิยมใช้กับโครงสร้างในแนวราบ เช่น แผ่นพื้น	วางกระดาษกันน้ำซึมได้บนผิวคอนกรีตให้เรียบและหลวมกัน พนักด้วยเทป หรือใช้ทรายกับ	- ป้องกันผิวคอนกรีตไม่ให้แห้งเร็วได้ แต่ต้องคอยรดน้ำไว้ด้วย - ใช้คนงานในระดับกรรมกรทำได้	- ชำรุดง่าย จึงไม่สะดวกในการเก็บรักษา - เสียค่าใช้จ่ายสูง - ไม่สะดวกในการใช้งาน	รอยต่อต้องพนักให้แน่น ไม่ขาดชำรุด

ตารางที่ 14-2 วิธีการบ่มคอนกรีตโดยการป้องกันการสูญเสียความชื้น

การใช้แบบหล่อ (Formwork)

เป็นการบ่มคอนกรีตโดยใช้แบบหล่อ สามารถป้องกันการสูญเสียความชื้นได้ และช่วยรักษาอุณหภูมิโดยเฉพาะในช่วงอายุเริ่มแรกของคอนกรีตให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม

โครงสร้าง	วิธีการ	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ	ข้อควรระวัง
- ใช้กับโครงสร้าง เช่น ฐานราก, เสา, คาน, พัง, และกำแพง เป็นต้น - นิยมใช้เป็นวิธีการหนึ่งของการบ่มแบบควบคุมอุณหภูมิ	- กรณีแบบหล่อไม้ ต้องพ่นไม้แบบให้มีความชื้นอยู่เสมอ - ทำได้โดยการยืดระยะเวลาการถอดแบบหล่อออกไป	- ทำได้สะดวก - ป้องกันการสูญเสียความชื้นได้ดีมาก จึงควรถอดแบบหล่อให้ช้าที่สุด	- ต้องใช้แบบหล่อจำนวนมาก - ทำให้งานล่าช้า เพราะต้องนำแบบหล่อไปใช้กับงานอื่นๆ ต่อไป - กรณีไม้แบบเก่า ต้องเสียเวลาทำความสะอาดไม้แบบ	ระยะเวลาในการถอดแบบหล่อควรพิจารณาจากผลการทดสอบกำลังของคอนกรีตโดยตรง

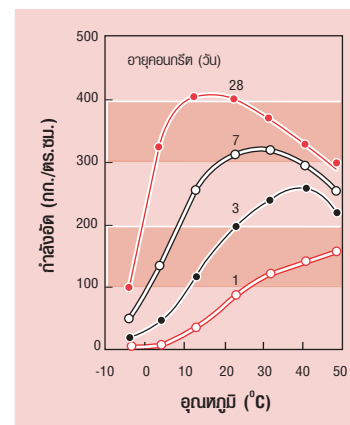
ตารางที่ 14-2 (ต่อ) วิธีการบ่มคอนกรีตโดยการป้องกันการสูญเสียความชื้น

14.4 การบ่มที่อุณหภูมิสูง

การบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงหรือการบ่มแบบเร่งกำลังนี้ สามารถเร่งอัตราการเพิ่มกำลังอัดได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงใน **รูปที่ 14-7** ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมใช้ในการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป เช่น ท่อ คาน และแผ่นพื้น เป็นต้น ข้อดีในการปฏิบัติ คือ

- สามารถผลิตได้รวดเร็วขึ้น
- ประหยัดแบบหล่อเพราะสามารถถอดแบบได้เร็ว
- คอนกรีตมีกำลังสูงเร็ว ทนต่อการเคลื่อนย้ายและใช้งานได้ดี

การบ่มแบบนี้ ควรคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้ เช่น ระยะเวลาที่จะเริ่มบ่ม, อัตราการเร่งอุณหภูมิ, อุณหภูมิสูงสุดของการบ่ม, ระยะเวลาการคงอุณหภูมิสูงสุดไว้, และอัตราการลดอุณหภูมิ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ควรได้มาจากผลการทดสอบหรือประสบการณ์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลเสียต่อคอนกรีตที่บ่ม คอนกรีตต้องมีกำลังไม่น้อยกว่ากำลังที่ออกแบบไว้ และต้องไม่มีผลเสียต่อความคงทนของคอนกรีตด้วย



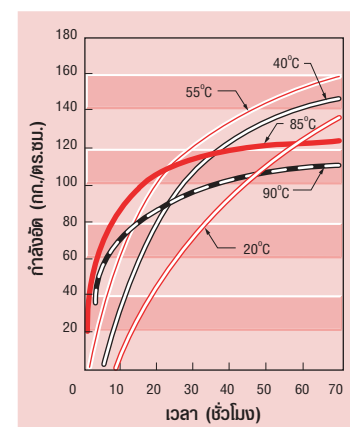
รูปที่ 14-7 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มที่มีต่อกำลังอัดของคอนกรีต

• การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำ (Low Pressure Steam Curing)

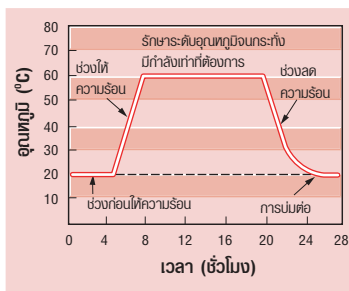
อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 40 - 100 °C ส่วนอุณหภูมิที่ให้ผลดีที่สุดจะอยู่ระหว่าง 65 - 80 °C การเลือกอุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับอัตราการเพิ่มกำลังอัดและกำลังอัดสูงสุดที่ต้องการ อุณหภูมิสูงจะทำให้กำลังอัดสูงขึ้นอย่างรวดเร็วแต่กำลังอัดประลัยสูงสุดจะมีค่าต่ำ อุณหภูมิที่ต่ำจะทำให้กำลังอัดประลัยสูงสุดที่สูงแต่ด้วยอัตราการเพิ่มกำลังอัดที่ต่ำ ความสัมพันธ์เห็นได้อย่างชัดเจนใน **รูปที่ 14-8**

นอกจากอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้บ่มแล้ว สิ่งที่สำคัญก็คือ เวลาที่ใช้ในการบ่มซึ่งประกอบด้วย 3 ช่วงเวลา คือ

1. ช่วงเวลาการค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น
2. ช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงสุดจริง
3. ช่วงเวลาการลดอุณหภูมิลงสู่อุณหภูมิปกติ



รูปที่ 14-8 ผลของอุณหภูมิของการบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำที่มีต่อกำลังของคอนกรีตในระยะแรก



รูปที่ 14-9 ขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิ สำหรับการบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำ

รูปที่ 14-9 แสดงขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิ ควรตั้งคอนกรีตไว้ที่อุณหภูมิปกติ ประมาณ 2-6 ชั่วโมงหลังการหล่อ ก่อนที่จะสัมผัสกับไอน้ำ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันขึ้นเบื้องต้นก่อน อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิไม่ควรให้เกิน 30 °C ต่อ ชั่วโมง เวลาที่คอนกรีตอยู่ภายใต้อุณหภูมิสูงสุดเป็นสิ่งที่กำหนดปริมาณกำลังที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับผลคูณระหว่างเวลาและอุณหภูมิหรือที่เรียกว่า “Maturity” ส่วนอัตราการลดอุณหภูมิหลังการบ่มมีความสำคัญน้อย ทั้งนี้เพราะคอนกรีตมีความแข็งแรงสูงแล้ว โดยปกติควรใช้อัตราการลดอุณหภูมิระหว่าง 20 - 30 °C ต่อ ชั่วโมง

ในหลาย ๆ โอกาส เราใช้การบ่มด้วยไอน้ำนี้เพื่อให้ได้กำลังสูงพอที่จะทำให้ความปลอดภัยต่อการถอดแบบและการขนย้ายเท่านั้น จากนั้นก็สามารถบ่มคอนกรีตด้วยความชื้นตามปกติได้ คอนกรีตที่บ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำนี้จะมีคุณสมบัติไม่ต่างจากคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิต่ำ

● การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันสูง (High Pressure Steam Curing)

หากต้องการบ่มคอนกรีตด้วยอุณหภูมิสูงเกิน 100 °C เราต้องให้ความกดดันสูงขึ้นและต้องบ่มคอนกรีตในภาชนะที่ปิดสนิท ซึ่งมีชื่อว่า “Autoclave” อุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ในช่วง 160 - 210 °C ที่ความดัน 6 - 20 atm สารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีภายใต้สภาวะดังกล่าว มีคุณสมบัติต่างจากสารประกอบ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 °C และมีผลที่สำคัญ คือ

- สามารถใช้คอนกรีตได้ภายใน 24 ชั่วโมงเพราะคอนกรีตมีกำลังสูงทัดเทียมการบ่มปกติเป็นเวลา 28 วัน
- มีการหดตัวและการล้าลดลงมาก
- ทนเกลือซัลเฟตได้ดีขึ้น
- กำจัด Efflorescence
- มีความชื้นต่ำภายหลังการบ่ม

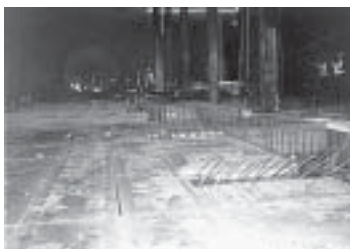
ในทางปฏิบัติ การบ่มแบบนี้เสียค่าใช้จ่ายสูงและใช้ได้กับคอนกรีตสำเร็จรูปเท่านั้น มีการใช้การบ่มนี้สำหรับผลิตภัณฑ์จำเพาะบางอย่าง เช่น แผ่นกระเบื้องซีเมนต์โยหิน เป็นต้น

14.5 การบ่มแบบควบคุมอุณหภูมิ

นอกจากวิธีการบ่มคอนกรีตซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามสภาพอุณหภูมิที่ใช้บ่มแล้ว ยังมีวิธีการบ่มอีกชนิดหนึ่ง คือ การบ่มแบบควบคุมอุณหภูมิซึ่งมีความจำเป็นต่องานบางประเภท โดยเฉพาะงานคอนกรีตทล

สำหรับงานคอนกรีตที่อยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำมาก อาจจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตสดหรือต้องบ่มด้วยการห่อหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน

สำหรับงานคอนกรีตที่อยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงมากหรืองานคอนกรีตทล ซึ่งอาจเกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในคอนกรีตกับสิ่งแวดล้อมภายนอก การลดอุณหภูมิเริ่มต้นอาจทำได้หลายวิธี เช่น ลดอุณหภูมิของคอนกรีตเอง โดยใช้ทรายและหินที่มีอุณหภูมิต่ำ หรือใช้น้ำเย็นในการผสม หรือใช้วัสดุผสมที่ช่วยลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน เช่น



รูปที่ 14-10 การบ่มแบบควบคุมอุณหภูมิ โดยการใช้แผ่นโฟมเป็นฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนบริเวณผิวหน้าคอนกรีตฐานรากแผ่ขนาดใหญ่

ใช้แก้รอยแตกที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เป็นต้น หรืออาจมีการฝังท่อให้น้ำเย็นสำหรับหมุนเวียนน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิภายในคอนกรีต หรือท่อหุ้มรอบคอนกรีตด้วยฉนวนกันความร้อน เพื่อลดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในเนื้อคอนกรีต หรือหลายวิธีประกอบกัน

งานคอนกรีตที่อยู่ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงมากหรือต่ำมาก งานดังกล่าวมักมีปัญหาความแตกต่างของอุณหภูมิภายในมวลคอนกรีต เนื่องจากจะเกิดความเค้น (Stress) ขึ้นภายในคอนกรีต และอาจนำไปสู่การแตกร้าวภายในมวลคอนกรีตได้ หรือกรณีที่มีอุณหภูมิต่ำมาก ๆ อาจทำให้น้ำในคอนกรีตแข็งตัวและทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับแบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับงานคอนกรีตประเภทดังกล่าว

ประเภทของงานคอนกรีต	เวลาขั้นต่ำในการบ่มคอนกรีตที่ใช้ ⁽¹⁾				
	ปูนซีเมนต์ผสม ⁽²⁾	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 3	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน
	ปูนตราเสือ	ปูนตราช้าง	ปูนตราช้างรับกำลังอัดเร็ว	ปูนตราช้างทนซัลเฟตสูง	ปูนตราช้างทนน้ำเค็ม ดินเค็ม
งานคอนกรีตหล่อในที่					
ส่วนโครงสร้างทั่วไป เช่น พื้นบ้าน, พื้นอาคาร, เสา, คาน, ฐานรากขนาดเล็ก, ผนัง, และกำแพง	7 วัน	7 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน
ถนน, ท่อจราจร, พื้นโรงงานอุตสาหกรรม	-	7 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน
พื้นสนามบิน, ถนน-ท่อจราจร-พื้นโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการคุณภาพชั้นหนึ่ง	-	14 วัน	7 วัน	14 วัน	14 วัน
คอนกรีตมวล (Mass Concrete) เช่น งานฐานรากขนาดใหญ่, และงานเขื่อน	-	14 วัน	-	14 วัน	14 วัน
งานคอนกรีตสำเร็จรูป					
แผ่นพื้น, เสา, คาน, และผนัง	-	7 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน
เสาเข็ม, และเสาไฟฟ้า	-	14 วัน	7 วัน	14 วัน	14 วัน

ตารางที่ 14-3 เวลาขั้นต่ำในการบ่มคอนกรีต สำหรับงานคอนกรีตทั่วไปที่ไม่มีข้อกำหนดระบุไว้

(1) ระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตอาจเร็วกว่าในตารางนี้ ถ้าได้มีการทดสอบคุณภาพตัวอย่างทดสอบคอนกรีตแล้วพบว่ามีความผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน เช่น การเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต จะช่วยให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงในระยะเวลาที่เร็วขึ้น จึงช่วยลดระยะเวลาการบ่มคอนกรีตลงได้ อย่างไรก็ตามหากมีการใช้คอนกรีตที่ผสมสารปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนแล้ว มีแนวโน้มที่จะบ่มเป็นเวลานานขึ้น เพราะปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้นช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารปอซโซลานที่ใช้ด้วย

(2) กรณีใช้ปูนซีเมนต์ผสมในงานโครงสร้าง จะใช้ได้กับโครงสร้างขนาดเล็กที่ต้องการกำลังอัดไม่สูงนักเท่านั้น



14.6 ระยะเวลาการบ่ม

โดยทั่วไประยะเวลาของการบ่มคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการ อาทิเช่น ประเภทของงานคอนกรีต, ชนิดของปูนซีเมนต์ที่ใช้, ส่วนผสมคอนกรีต, กำลังของคอนกรีตที่ต้องการ, อุณหภูมิที่ใช้บ่ม, และความชื้นในขณะบ่ม เป็นต้น องค์ประกอบเหล่านี้ถือได้ว่ามีผลต่อระยะเวลาของการบ่มคอนกรีต ซึ่งอาจจะต้องใช้เวลามากถึง 1 เดือน สำหรับคอนกรีตที่ใช้ทำเสาเข็ม หรือเพียง 3 วัน สำหรับคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์อยู่ในปริมาณสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กำลังอัดสูงเร็ว

สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป ส่วนใหญ่จะกำหนดระยะเวลาในการบ่มไว้ตั้งแต่ 3 วัน จนถึง 2 สัปดาห์ ซึ่งกำหนดเวลาดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยปกตินิยมกำหนดระยะเวลาการบ่มไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ดังรายละเอียดใน *ตารางที่ 14-3*

14.7 การถอดแบบหล่อคอนกรีต



รูปที่ 14-11 ตัวอย่างแบบหล่อขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

แบบหล่อคอนกรีต (Formwork) คือ แบบที่ทำจากวัสดุ อาทิเช่น ไม้, ไม้อัด, เหล็ก, โฟมเบอร์กลาส, พลาสติก หรือแม้กระทั่งที่เป็นคอนกรีตเอง เพื่อใช้หล่อคอนกรีตให้มีขนาดและรูปร่างตามต้องการ โดยต้องออกแบบและก่อสร้างแบบหล่อคอนกรีตและค้ำยันให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานแรงอันเนื่องมาจากการเทคอนกรีตและการอัดแน่นคอนกรีต มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทำให้ผลงานคอนกรีตที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินค่าที่ยอมรับได้ (Tolerance) และยังคงคำนึงถึงลักษณะของผิวคอนกรีตที่ปรากฏ งานที่จะตามมาภายหลังการถอดแบบ และความประหยัด

การจำแนกชนิดของแบบหล่อ อาจแบ่งตามลักษณะการรับแรงดันและน้ำหนักของคอนกรีตได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ขึ้นส่วนที่รับแรงดันข้าง และขึ้นส่วนที่รับน้ำหนักในแนวตั้ง หรืออาจแบ่งตามชนิดของโครงสร้าง เช่น แบบหล่อคอนกรีตทั่วไป และแบบหล่อขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป หรืออาจแบ่งตามเทคนิคการก่อสร้าง เช่น แบบหล่อสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป แบบหล่อแบบเคลื่อนที่ในแนวตั้ง และแบบหล่อแบบเคลื่อนที่ในแนวราบ

แบบหล่อที่ดี จะให้ความประณีต ความสวยงาม และความแข็งแรงแก่โครงสร้างคอนกรีต อีกทั้งยังสามารถกำหนดต้นทุนในการก่อสร้างได้ส่วนหนึ่งด้วย

เนื่องจากเวลาถอดแบบหล่อคอนกรีตขึ้นอยู่กับส่วนผสมคอนกรีตและการบ่มคอนกรีตเป็นสำคัญ ดังนั้นการถอดแบบได้เร็วเพื่อให้สามารถนำแบบไปใช้ซ้ำหลาย ๆ ครั้งนั้นจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพคอนกรีตให้มีกำลังในระยะเริ่มแรกสูงเพียงพอ และในขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมให้มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ตามต้องการด้วย

ปกติองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทุกชนิดจะมีการยึดติดหรือโก่งตัว แต่ที่มีผลกระทบต่อส่วนอื่น ๆ โดยตรง คือ การโก่งตัวขององค์อาคารรับแรงดัด เช่น แผ่นพื้น และคาน ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อสิ่งก่อสร้างทางสถาปัตยกรรม โดยเฉพาะกับผนังก่ออิฐหรือบล็อก คือ ทำให้เกิดการแตกร้าวได้ ดังนั้นจึงควรรีบถอดแบบหล่อและค้ำยันออกให้หมดเมื่อคอนกรีตมีอายุครบกำหนดหรือมีกำลังไม่น้อยกว่ากำลังที่ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตาม วิธีที่ดี จะต้อง



รูปที่ 14-12 ภายหลังจากคอนกรีตมีอายุครบกำหนด หรือมีกำลังอัดตามที่ออกแบบไว้แล้ว ควรถอดแบบหล่อพร้อมค้ำยันออก หากจำเป็นต้องเหลือค้ำยันไว้บ้างก็ต้องกระจายให้ทั่ว 4

พิจารณาด้วยว่าน้ำหนักแบบหล่อ, น้ำหนักค้ำยัน, และน้ำหนักแผ่นพื้นและคานที่จะหล่อของพื้นที่นั้นเกิดขึ้นไป จะมีน้ำหนักมากกว่าที่รับได้หรือไม่ ถ้ามากกว่าก็ควรจะคงค้ำยันไว้บ้าง โดยเหลือค้ำยันไว้กระจายให้ทั่ว

● การถอดแบบหล่อและค้ำยัน

1. จะถอดแบบหล่อและค้ำยันออกได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดเพียงพอที่จะสามารถรับน้ำหนักของคอนกรีตและน้ำหนักอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการก่อสร้างต่อไป
2. ขั้นตอนและระยะเวลาในการถอดแบบหล่อและค้ำยัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น คุณสมบัติของปูนซีเมนต์, ส่วนผสมคอนกรีต, ความสำคัญของโครงสร้าง, ชนิดและขนาดของโครงสร้าง, น้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง, และอุณหภูมิ เป็นต้น

ชนิดแบบหล่อของโครงสร้าง	กำลังอัดขั้นต่ำของคอนกรีต (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
แบบหล่อด้านข้างของเสา คาน กำแพง และฐานราก	50
แบบหล่อท้องพื้น และคาน	140

ตารางที่ 14-4 กำลังอัดขั้นต่ำของคอนกรีตสำหรับการถอดแบบหล่อและค้ำยันของโครงสร้างทั่วไป

ชนิดแบบหล่อของโครงสร้าง	อายุขั้นต่ำของคอนกรีต (วัน)
แบบหล่อด้านข้างของเสา คาน กำแพง และฐานราก	2
แบบหล่อท้องพื้น	14
แบบหล่อท้องคาน	21

ตารางที่ 14-5 อายุขั้นต่ำของคอนกรีตสำหรับการถอดแบบหล่อและค้ำยันของโครงสร้างทั่วไป

3. กรณีโครงสร้างทั่วไปซึ่งมีได้มีข้อกำหนดระบุไว้ สามารถถอดแบบหล่อและค้ำยันโดยมีค่ากำลังอัดของคอนกรีตขั้นต่ำ ดังแสดงใน ตารางที่ 14-4
4. กรณีโครงสร้างทั่วไปซึ่งมีได้มีข้อกำหนดระบุไว้ และไม่มีผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ให้ใช้ระยะเวลาถอดแบบหล่อและค้ำยันเร็วที่สุด ดังแสดงใน ตารางที่ 14-5

ขั้นตอนและลำดับการถอดแบบหล่อและค้ำยัน ควรคำนึงว่าโครงสร้างซึ่งมีค้ำยันค้างอยู่บางส่วนจะสามารถรับแรงหรือโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้โดยไม่แตกร้าว

การกองเก็บวัสดุบนโครงสร้างคอนกรีตหลังการถอดค้ำยันแล้ว ต้องตรวจสอบว่าไม่เป็นอันตรายต่อโครงสร้าง เนื่องจากโครงสร้างขณะนั้นอาจจะยังไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามที่ออกแบบไว้ นอกจากนี้อาจจะต้องเคลื่อนย้ายวัสดุที่กองไว้บนโครงสร้างตั้งแต่ก่อนการถอดค้ำยันออกไป หากตรวจพบว่าอาจเกิดอันตรายต่อโครงสร้างเมื่อถอดค้ำยันออก



มาตรฐานอ้างอิง

- มอก. 841-2532 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สารเคลือบมคอนกรีต
- E.I.T.Standard 1014-46 : ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต, คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- ASTM C 31 : 2003 : Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field
- ASTM C 171 : 2003 : Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete
- ASTM C 192 : 2002 : Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
- ASTM C 309 : 2003 : Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete
- ASTM C 684 : 2003 : Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens

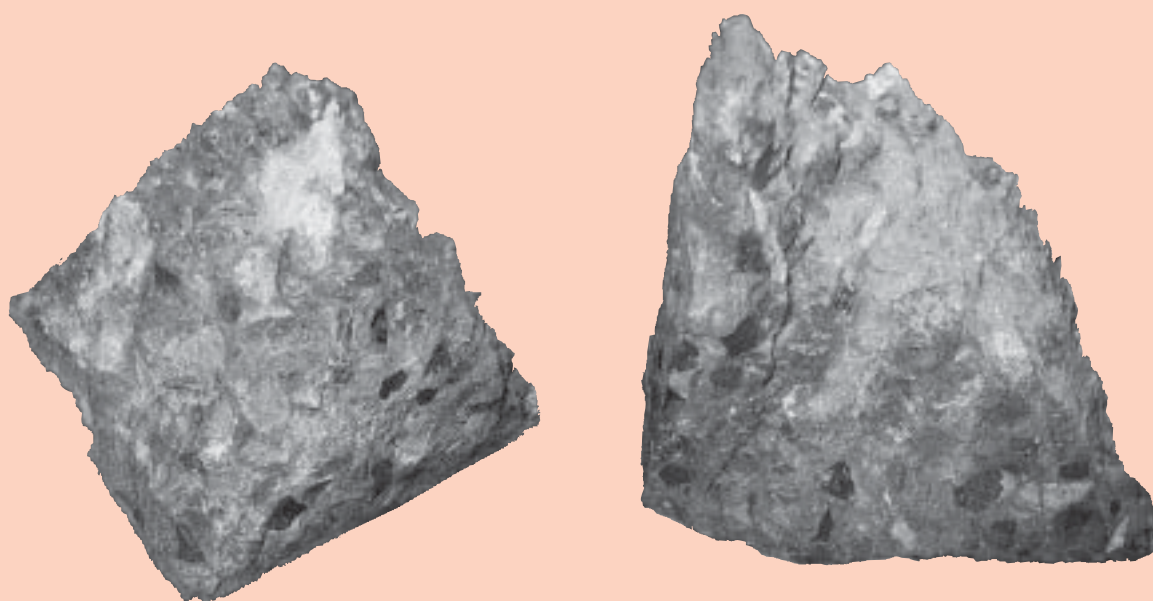
เอกสารอ้างอิง

- 1 ชีวาลย์ เศรษฐบุตร, “คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, “10 ขั้นตอนในการทำคอนกรีตที่ดี ตอนที่ 2”, 2546.
- 3 บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, “เทคนิคการใช้ปูนซีเมนต์”, 2547.
- 4 อรุณ ชัยเสรี, “เกร็ดความรู้เกี่ยวกับการควบคุมงานก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก”, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2541.
- 5 เอกสารวิชาการของคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2545.
- 6 เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, “แบบหล่อคอนกรีต”.
- 7 ACI Committee 305, “ACI 305R-99 : Hot Weather Concreting”, 2002.
- 8 ACI Committee 308, “ACI 308R-92 : Standard Practice for Curing Concrete”, 2002.
- 9 ACI Committee 308, “ACI 308.1R-98 : Standard Specification for Curing Concrete”, 2002.

กำลังอัดของคอนกรีต

บทที่

15



รูปที่ 15-1 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างคอนกรีตกำลังสูงรูปทรงลูกบาศก์ 3

บทคัดย่อ

คุณสมบัติของคอนกรีตจะมีความสำคัญเพียงขณะก่อสร้างเท่านั้น ในขณะที่คุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้น โดยทั่วไปคุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้วในด้านกำลังของคอนกรีต มักได้รับการพิจารณาว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุด โดยในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเรื่องกำลังอัดของคอนกรีตเท่านั้น

กำลังอัดของคอนกรีต หมายถึง ความสามารถของคอนกรีตในการต้านทานต่อหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้น โดยไม่เกิดการพังทลาย การพังทลายนี้ ได้แก่ รอยแตกร้าวที่ปรากฏ กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่ กำลังของมอร์ตาร์, กำลังของมวลรวมหยาบ, และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ

การทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากหน่วยงานก่อสร้าง มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประเมินผลและความคุ้มค่าของคอนกรีตที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพและกำลังอัดที่สม่ำเสมออยู่ในระดับที่ต้องการ โดยต้องยอมรับว่า ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ ความผันแปรเนื่องจากกระบวนการผลิต และความผันแปรเนื่องจากกระบวนการควบคุมคุณภาพ นอกจากนี้ความผันแปรของค่ากำลังอัดนี้จะต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ด้วย



15.1 บทนำ

คุณสมบัติของคอนกรีตจะมีความสำคัญเพียงขณะก่อสร้างเท่านั้น ในขณะที่คุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้วซึ่งมีหลายคุณสมบัติด้วยกัน เช่น กำลัง ความคงทน และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร เป็นต้น จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้น อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งสองลักษณะจะมีผลต่อกันและกัน การทำให้ได้คอนกรีตแข็งตัวแล้วที่มีคุณสมบัติดีนั้น จะต้องมาจากการเลือกใช้วัสดุและส่วนผสมคอนกรีต ตลอดจนการทำคอนกรีตที่ดีทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้คอนกรีตที่อยู่ในสภาพแวดล้อมมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน

โดยทั่วไปคุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้วในด้านกำลังของคอนกรีตมักได้รับการพิจารณาว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุด แม้ว่าในบางครั้งคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ความคงทน และความทนน้ำ อาจมีความสำคัญมากกว่าก็ตาม โดยในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเรื่องกำลังอัดของคอนกรีตเท่านั้น ส่วนคุณสมบัติด้านกำลังอื่น ๆ จะได้กล่าวไว้ในบทต่อไป

15.2 ธรรมชาติของกำลังอัดของคอนกรีต

กำลังอัดของคอนกรีต (Compressive Strength) หมายถึง ความสามารถในการต้านทานต่อหน่วยแรงอัด (Compressive Stress) ที่เกิดขึ้น โดยไม่เกิดการพังทลาย (Failure) การพังทลายนี้ ได้แก่ รอยแตกกว้างที่ปรากฏ

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่

1. กำลังของมอร์ตาร์
2. กำลังของมวลรวมหยาบ
3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ

1. กำลังของมอร์ตาร์

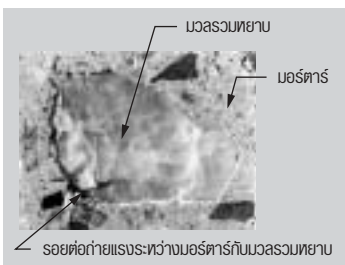
กำลังของมอร์ตาร์มีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยกำลังของมอร์ตาร์ขึ้นอยู่กับ ความพรุนภายในเนื้อมอร์ตาร์, อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์, และระดับการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Degree of Hydration) แต่ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความพรุน จะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กำลังของมอร์ตาร์ขึ้นอยู่กับอย่างมากกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของมวลรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดผล, ปริมาณ, กำลัง, ลักษณะผิว, ขนาดโตสุด, การดูดซึม, และแร่ธาตุต่าง ๆ จะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตไม่มากนัก

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังตึงน้อยกว่ากำลังอัด โดยอัตราส่วนของกำลังตึงต่อกำลังอัดของคอนกรีต จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น

2. กำลังของมวลรวมหยาบ

เมื่อกำหนดกำลังของมอร์ตาร์ ความสามารถต้านทานแรงอัดของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของมวลรวมหยาบ และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ



รูปที่ 15-2 กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่ กำลังของมอร์ตาร์, กำลังของมวลรวมหยาบ, แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ

คอนกรีตโดยทั่วไป กำลังของมวลรวมหยาบจะสูงเป็นหลายเท่าของกำลังของมอร์ตาร์ ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวม จึงเป็นตัวควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีต

กรณีคอนกรีตกำลังสูง ซึ่งมีกำลังของมอร์ตาร์สูงมาก กำลังของมวลรวมหยาบจะเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีต

เมื่อกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงเมื่อใช้มวลรวมหยาบขนาดใหญ่ขึ้น เพราะจะก่อให้เกิดน้ำได้มวลรวมหยาบมากขึ้นทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบลดลง

ขนาดของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ หรือปานกลางมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูง

การเพิ่มปริมาณของมวลรวมหยาบในส่วนผสมจะเป็นการเพิ่มกำลังอัด รวมทั้งถ้าใช้มวลรวมหยาบที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้น

3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ

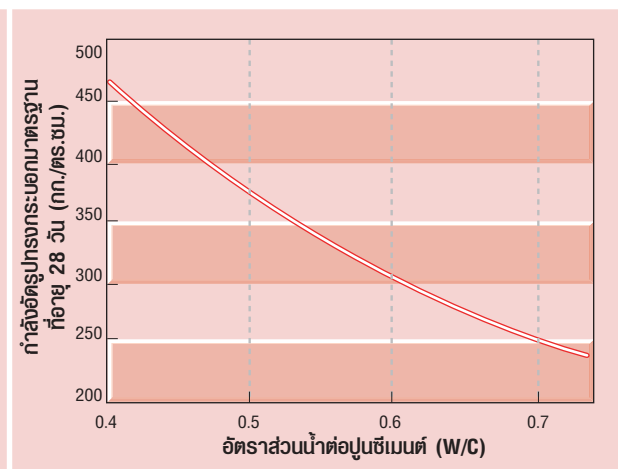
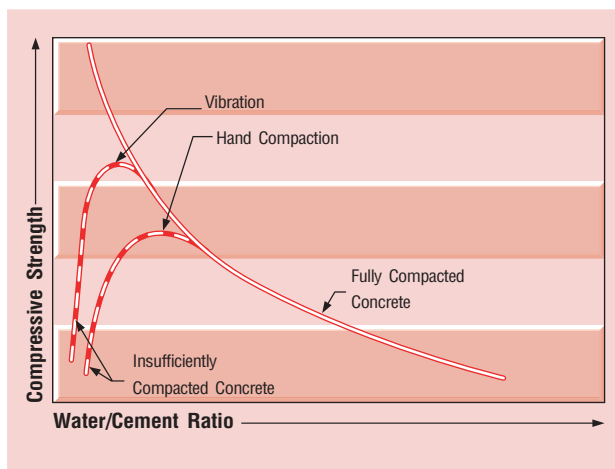
แรงยึดเหนี่ยวนี้นี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี คือ ปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่าง ๆ ในเนื้อมวลรวม

นอกจากนี้ทิศทางการหล่อและทิศทางการให้น้ำหนักจะมีผลต่อกำลังเช่นกัน โดยจะมีผลต่อกำลังดึงมากกว่ากำลังอัด ด้วยเหตุผลที่ว่า จะเกิดช่องว่างทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบต่ำลง

15.3 หลักการและเหตุผลทางทฤษฎีที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

● อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water to Cement Ratio)

กำลังของคอนกรีตที่แต่ละอายุที่บ่มในน้ำที่มีอุณหภูมิตามกำหนด ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ และระดับของการอัดแน่นคอนกรีต



ก) ผลของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และการอัดแน่นที่มีต่อกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต

ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และกำลังอัดรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน

รูปที่ 15-3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) และกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต



Duff Abrams (พ.ศ. 2461) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์ของคอนกรีต พบว่า เมื่อคอนกรีตได้รับการอัดแน่นอย่างสมบูรณ์ (มีช่องว่างอากาศ หรือ Air Voids ประมาณ 1%) กำลังอัดของคอนกรีตจะแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์ กล่าวคือ ถ้าใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์ต่ำกว่าจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า อย่างไรก็ตาม ถ้าค่าอัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์ต่ำมากเกินไป (อาจมีปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมมากกว่า 530 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงได้เนื่องจากการอัดแน่นคอนกรีตอย่างสมบูรณ์ทำได้ยากขึ้น และปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ ยังอาจมีสาเหตุจากการหดตัวที่สูงจนเกิดการแตกร้าวขึ้น ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์เฟสกับมวลรวมลดลง กำลังอัดของคอนกรีตจึงลดลงด้วย

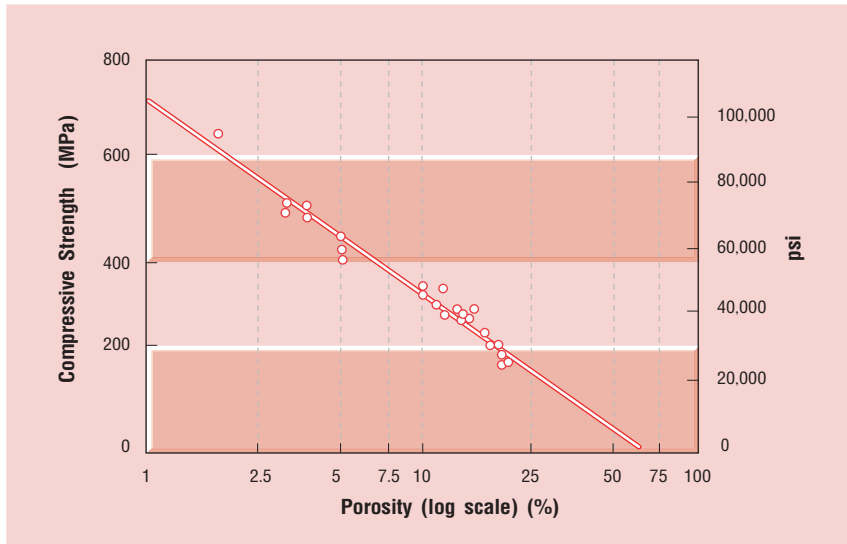
โดยทั่วไป อัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์ของคอนกรีตกำลังสูง มีค่าอยู่ในช่วง 0.20 - 0.40

● อัตราส่วน Gel/Space Ratio และความพรุน (Porosity)

อัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์ไม่ได้เป็นตัวกำหนดกำลังอย่างถูกต้องมากเพียงพอทั้งนี้เพราะกำลังของคอนกรีตที่แต่ละอัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับระดับของปฏิกิริยาไฮเดรชัน, คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปูนซีเมนต์, อุณหภูมิในขณะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน, ปริมาณอากาศในคอนกรีต, การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำประสิทธิผลต่อนูนซีเมนต์, การเกิดการแตกร้าวที่เกิดจากการเย็น, ปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสม, และคุณสมบัติของรอยต่อถ่ายแรงระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ (หรือซีเมนต์เฟสกับมวลรวม)

ความพรุน (Porosity) ขององค์ประกอบของคอนกรีตทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ซีเมนต์เฟส, มวลรวม, และรอยต่อถ่ายแรงระหว่างซีเมนต์เฟสกับมวลรวม (Transition Zone) คือ ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตกำลังสูงมากที่สุด กล่าวคือ กำลังของคอนกรีตมีผลกระทบมาจากปริมาตรช่องว่างทั้งหมดในคอนกรีต ซึ่งช่องว่างเหล่านี้ ได้แก่ ช่องว่างอากาศขนาดใหญ่ที่ถูกกักในคอนกรีต (Entrapped Air Voids), โพรงคาปิลลารี (Capillary Pores), โพรงเจล (Gel Pores), และอากาศที่ถูกกักกระจายในคอนกรีต (Entrained Air)

การหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเข้มข้นของผลผลิตของแข็งจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ในช่องว่างในคอนกรีต หรืออัตราส่วน Gel/Space Ratio หรือใช้ในรูปแบบของความพรุน (Porosity) จึงน่าจะถูกต้องในทางทฤษฎีมากกว่าอัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์ แต่เพราะมีความซับซ้อนมากกว่า การประยุกต์ใช้งานจริงจึงยังคงนิยมใช้อัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์เป็นปัจจัยหลักในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและการควบคุมการผลิตคอนกรีตให้มียกกำลังอัดและคุณสมบัติอื่น ๆ ตามต้องการ



รูปที่ 15-4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความพรุนของซีเมนต์โพสต์

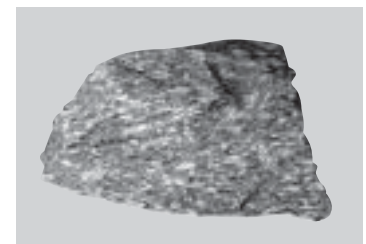
15.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่สำคัญ ได้แก่

1. คุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต

1.1 ปูนซีเมนต์ : เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก ทั้งนี้เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภท จะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกัน แต่มีความละเอียดแตกต่างกันแล้ว อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างกันไปด้วย กล่าวคือ ถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

1.2 มวลรวม : มวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์โพสต์ ยกเว้นกรณีคอนกรีตกำลังสูงซึ่งมีกำลังของซีเมนต์โพสต์สูงกว่าคอนกรีตทั่วไปมวลรวมจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต โดยมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อยซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบ จะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงกว่ากรวดซึ่งมีผิวเรียบ ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้เท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตโดยทั่วไปที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่จึงมักให้กำลังดีกว่า ส่วนขนาดผลของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดผลไม่เหมาะสม กล่าวคือ มีส่วนละเอียดมากเกินไปนั้น จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามวลรวมที่มีส่วนผลที่ดี เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้เท่ากัน อีกทั้งยังก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นจำนวนมากกว่า ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลงได้ นอกจากนี้ ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน



ก) หินย่อย



ข) กรวด

รูปที่ 15-5 โดยทั่วไปคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้มวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อยซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือมีผิวหยาบ จะมียกกำลังอัดสูงกว่าที่ใช้กรวดซึ่งมีผิวเรียบ



1.3 น้ำ : มีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความชื้นและปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารแขวนลอยนั้น

1.4 สารผสมเพิ่ม : ชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำ และสารลดน้ำพิเศษ มีผลต่อการลดน้ำในส่วนผสมคอนกรีตเมื่อควบคุมให้มีค่ายุบตัวเท่ากัน สารผสมเพิ่มประเภทนี้จะช่วยลดปริมาณน้ำในส่วนผสม ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตโดยทั่วไปที่ไม่ใส่น้ำยา นอกจากนี้การใช้แร่ผสมเพิ่มและสารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ ก็มีผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตแตกต่างกันตามชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มชนิดนั้น ๆ เช่น ซิลิกาฟูม จะช่วยให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังในระยะต้นสูงขึ้นไป จึงนิยมใช้ในการทำคอนกรีตกำลังสูง เป็นต้น

2. ส่วนผสมคอนกรีต

มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตอย่างมาก ถ้าใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่า จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า

3. การทำคอนกรีต

3.1 การชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีต : หากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีตผิดไปจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้

3.2 การผสมคอนกรีต : การผสมคอนกรีตจะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้มีน้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เฟสกระจายแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้เต็มที่ ดังนั้นการผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึงจะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ได้

3.3 การลำเลียง, การเท, และการอัดแน่นคอนกรีต : จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียง หรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัว หากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้

4. การบ่มคอนกรีต

4.1 ความชื้น : จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะเมื่อปูนซีเมนต์เริ่มผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างค่อยเป็นค่อยไป และซีเมนต์เฟสจะมีความชื้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทรายใดที่ยังคงมีความชื้นอยู่ ถ้าซีเมนต์เฟสในคอนกรีตไม่มีความชื้นอยู่ คอนกรีตก็จะไม่มีการเพิ่มกำลังอีกต่อไป ดังนั้นเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวจึงควรทำการบ่มด้วยความชื้นทันที ในทางปฏิบัติเราควรบ่มคอนกรีตให้นานที่สุด ส่วนการบ่มในห้องปฏิบัติการ มักจะบ่มจนถึงอายุ 28 วัน

4.2 อุณหภูมิ : ถ้าหากอุณหภูมิสูงในขณะบ่ม จะทำให้คอนกรีตมีการพัฒนา
กำลังเร็วกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

4.3 เวลาที่ใช้ในการบ่ม : ถ้าหากสามารถบ่มคอนกรีตให้ขึ้นอยู่ตลอดเวลาได้ยิ่
นานเท่าใด ก็จะได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

5. การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

การควบคุมคุณภาพคอนกรีตสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะทำในรูปของ
การชักตัวอย่างคอนกรีตสดมาทำก้อนตัวอย่าง โดยถือว่ากำลังของก้อนตัวอย่างเป็นตัวแทน
ของคอนกรีตที่หล่อเป็นโครงสร้าง ดังนั้นจึงควรพิจารณาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดสอบ
ตัวอย่างคอนกรีตดังต่อไปนี้

5.1 รูปร่างและขนาดของตัวอย่างคอนกรีต : การใช้แท่งคอนกรีตที่ต่างรูปร่าง
หรือต่างขนาดกัน จะมีผลทำให้ค่ากำลังของคอนกรีตเกิดความแตกต่างกัน
ด้วย ดังแสดงใน ตารางที่ 15-1



รูปที่ 15-6 การบ่มคอนกรีตเป็นอีก
หนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังอัดของ
คอนกรีต

ขนาด (เซนติเมตร)	กำลังอัดสัมพัทธ์ %
7.5	106
10	104
15	100
20	95
25	92



ขนาด (เซนติเมตร)		กำลังอัดสัมพัทธ์ %
เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความสูง	
5.0	10	109
7.5	15	106
15	30	100
20	40	97
30	60	91
45	90	87
60	120	84
90	180	82

ก) ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

ข) ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ตารางที่ 15-1 ผลของรูปร่างและขนาดของตัวอย่างคอนกรีตที่มีต่อกำลังอัด

นอกจากนี้ อัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง
ทดสอบคอนกรีต จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน ดังแสดงใน ตาราง
ที่ 15-2

5.2 วิธีการทำตัวอย่างคอนกรีต : ตัวอย่างคอนกรีตที่ได้รับการอัดแน่นด้วยวิธี
การกระทุ้งด้วยเหล็ก จะมีค่ากำลังอัดต่ำกว่าวิธีการใช้เครื่องจีเซียว

5.3 ความชื้นในตัวอย่างคอนกรีต : ในขณะที่จะทำการทดสอบ ถ้าหากแท่ง
ทดสอบมีความชื้นก็จะให้ค่ากำลังที่ต่ำกว่าแท่งทดสอบที่แห้งกว่า

5.4 อัตราการกด : ในการทดสอบกำลังอัด ถ้าใช้อัตราการกดสูงจะทำให้กำลัง
อัดของคอนกรีตสูงตามไปด้วย จึงควรใช้อัตราการกดตามมาตรฐานที่กำหนด
ไว้ ตารางที่ 15-3 แสดงผลของอัตราการกดตัวอย่างทดสอบคอนกรีตต่อ
กำลังอัด

อัตราส่วนความสูงต่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D)	ค่าปรับแก้ ของกำลังอัด
มาตรฐาน	
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

ตารางที่ 15-2 ค่าปรับแก้ของกำลังอัด
เนื่องจากผลของอัตราส่วนความสูงต่อ
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง
คอนกรีตรูปทรงกระบอก

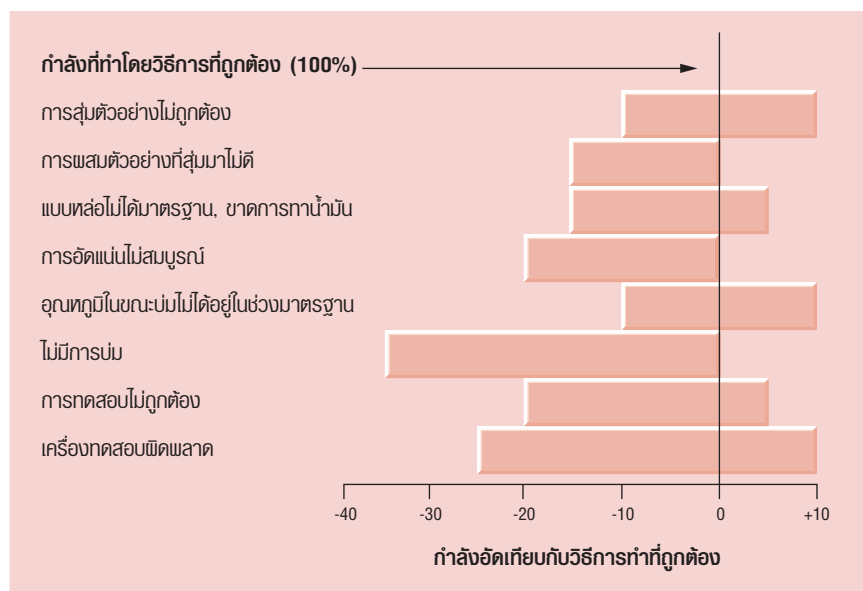


อัตราการกด	เปอร์เซ็นต์ ของกำลังอัด
มาตรฐาน	
2 นาฬิกา	100
10 นาฬิกา	95
30 นาฬิกา	92
1 ชั่วโมง	90
4 ชั่วโมง	88
100 วัน	78
1 ปี	77
3 ปี	73
30 ปี	69

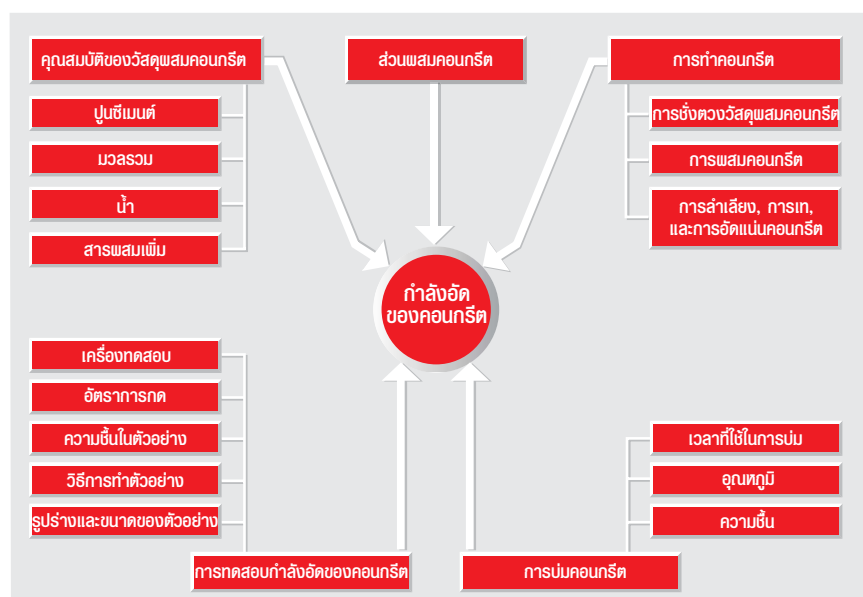
ตารางที่ 15-3 ผลของอัตราการกดตัวอย่างคอนกรีตที่มีต่อกำลังอัด

5.5 เครื่องทดสอบ : น้ำหนักที่กดอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง จึงจะทำให้กำลังอัดที่ถูกต้อง ซึ่งจะเกิดได้ดังนี้

- ก้อนตัวอย่างต้องอยู่ตรงจุดกึ่งกลาง และแกนของก้อนตัวอย่างต้องอยู่ในแนวตั้ง
- แผ่นรองกดต้องอยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนของก้อนตัวอย่าง
- แผ่นรองกดต้องเคลื่อนตัวได้เล็กน้อย
- แผ่นรองกดจะต้องเรียบเป็นระนาบ
- ถ้าต้องใช้วัสดุ Cap ก้อนตัวอย่าง ควรจะเลือกวัสดุที่มีกำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับของคอนกรีต



รูปที่ 15-7 สิ่งที่ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตผันแปรเนื่องจากการทำและการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต



รูปที่ 15-8 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

15.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของตัวอย่างทดสอบคอนกรีต รูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก

ตัวอย่างทดสอบมาตรฐานที่หล่อขึ้นมาเพื่อทดสอบกำลังอัดที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มี 2 รูปทรง คือ

1. รูปทรงลูกบาศก์ เป็นการทดสอบตามมาตรฐานของอังกฤษ [BS EN 12390-1, BS EN 12390-2, BS EN 12390-3, BS EN 12390-4] ขนาดที่ใช้คือขนาด 15 เซนติเมตร

2. รูปทรงกระบอก เป็นการทดสอบตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา [ASTM C 39, ASTM C 192] ขนาดที่ใช้คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร

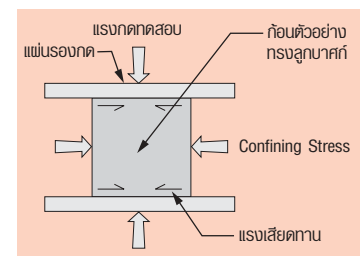
กำลังอัดของ 2 รูปทรงนี้จะแตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน โดยกำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่าของรูปทรงลูกบาศก์ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ

1. แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดก่อให้เกิด Confining Stress ซึ่งจะมีผลทำให้ค่ากำลังอัดของรูปทรงลูกบาศก์ที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง

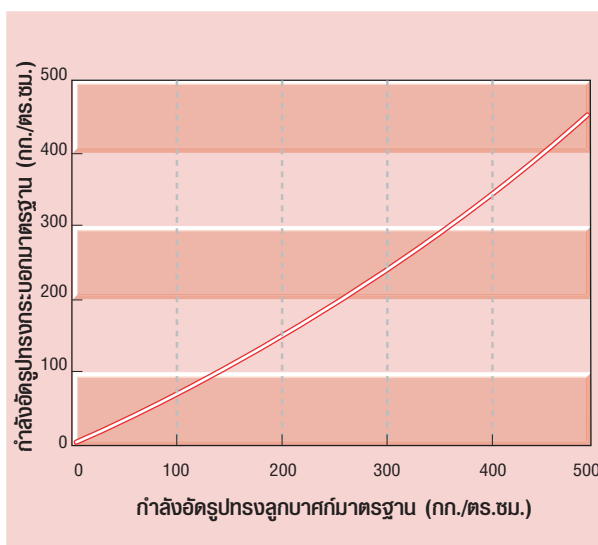
2. องค์ประกอบเรื่องความชื้น กล่าวคือเนื่องจากรูปทรงกระบอกมีความสูงมากกว่าด้านกว้างทำให้ผลด้าน Confining Stress ลดลงอย่างมาก

ตามข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีตของ วสท. ได้ให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์กับกำลังอัดรูปทรงกระบอก ดัง **รูปที่ 15-10**

นอกจากนี้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ มอก. 213 ได้เสนอชั้นคุณภาพคอนกรีต และกำลังอัดของ 2 รูปทรงไว้ ดัง **ตารางที่ 15-4**



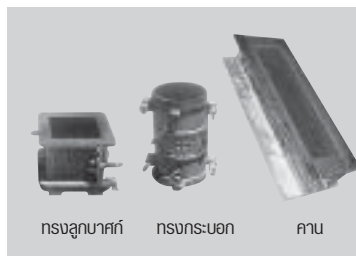
รูปที่ 15-9 แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์กับแผ่นรองกด ซึ่งก่อให้เกิดแรงต้านทานต่อการแตกด้านข้าง (Confining Stress)



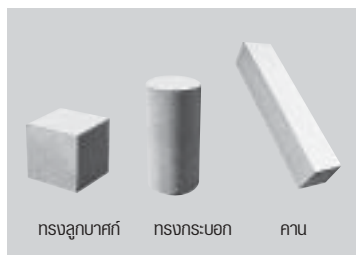
รูปที่ 15-10 การแปลงค่ากำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐาน เป็นกำลังอัดรูปทรงกระบอกมาตรฐาน

ชั้นคุณภาพ	การต้านแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	
	รูปทรงลูกบาศก์	รูปทรงกระบอก
	15 เซนติเมตร	ϕ 15 x 30 เซนติเมตร
C 10/8	100	80
C 12.5/10	125	100
C 15/12	150	120
C 20/15	200	150
C 25/20	250	200
C 30/25	300	250
C 35/30	350	300
C 40/35	400	350
C 45/40	450	400

ตารางที่ 15-4 การเปรียบเทียบกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก ตาม มอก. 213



ก) แบบหล่อตัวอย่างคอนกรีต



ข) ก้อนตัวอย่างคอนกรีต

รูปที่ 15-11 แบบหล่อและก้อนตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์, รูปทรงกระบอก, และรูปคาน

15.6 การทำตัวอย่างและการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

คอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้าง นอกจากมีความเหลวพอที่จะเทได้แล้ว เมื่อเป็นคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ยังต้องสามารถรับกำลังอัดได้ตามต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องยังจะต้องมีการเก็บก้อนตัวอย่าง และนำมาทดสอบตามเวลาต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้

โดยทั่วไป ก้อนตัวอย่างในงานคอนกรีตที่ใช้ในประเทศไทย มีดังนี้

1. ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 เซนติเมตร
2. ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร
3. ตัวอย่างคอนกรีตรูปคานขนาด 15 X 15 X 60 เซนติเมตร

(วิธีการทำตัวอย่างรูปคานและการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต จะได้กล่าวไว้ในบทถัดไป)

15.6.1 การทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

- มาตรฐานที่ใช้กำหนดรูปร่างและขนาดของตัวอย่าง

BS EN 12390 Part 1

Testing hardened concrete

Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds

- มาตรฐานที่ใช้กำหนดการทำและการบ่มตัวอย่าง

BS EN 12390 Part 2

Testing hardened concrete

Making and curing specimens for strength tests

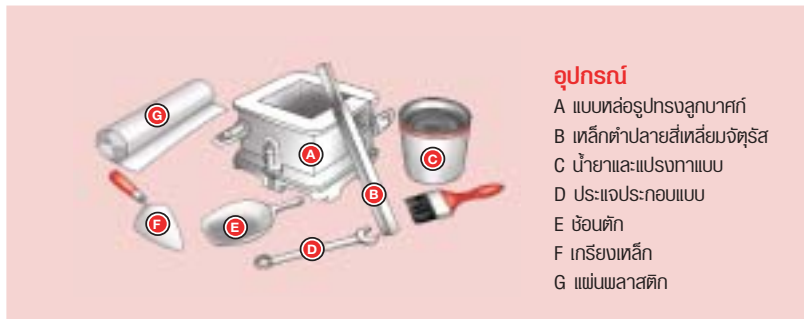
- ขอบข่าย

ส่วนหนึ่งของทั้งสองมาตรฐานนี้ ได้กำหนดรูปร่าง ขนาด และค่าคลาดเคลื่อนของตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่หล่อในแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์และกำหนดวิธีการทำตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลัง โดยครอบคลุมการจัดเตรียมและการใส่คอนกรีตสดในแบบหล่อ, การอัดแน่นคอนกรีต, การปรับระดับผิว, และการบ่มตัวอย่างทดสอบ

- อุปกรณ์

1. แบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 เซนติเมตร
2. เหล็กดำ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว
3. น้ำยาและแปรงทาแบบ
4. ประแจประกอบแบบ

5. ช้อนตัก
6. เกรียงเหล็ก
7. แผ่นพลาสติก



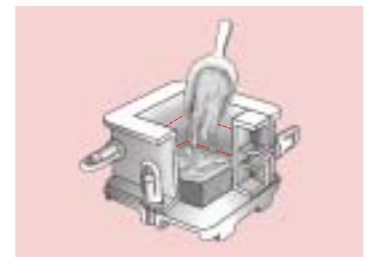
รูปที่ 15-12 อุปกรณ์ทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์



ก) ทำความสะอาดแบบหล่อ และทาสีทาแบบให้ทั่ว

● วิธีการทำตัวอย่างคอนกรีต

1. ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีต แล้วทาสีที่ผิวภายในทุกด้าน
2. ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่า ๆ กัน โดยประมาณ แต่ละชั้น ต่ำด้วยเหล็กตบ 35 ที
3. เมื่อตักชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ
4. ตัวอย่างคอนกรีตที่ทำเสร็จแล้ว ควรใช้แผ่นพลาสติกคลุมไว้ เพื่อป้องกันน้ำระเหยออก ทั้งคอนกรีตไว้ในแบบประมาณ 16 - 24 ชั่วโมง (ระยะเวลาถอดแบบหล่อขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการก่อตัวของคอนกรีต) หลังจากนั้นถอดแบบออก เขียนรายละเอียดต่าง ๆ บนหน้าก้อนปูน เช่น วันที่ทำตัวอย่าง, หมายเลขตัวอย่าง เป็นต้น
5. จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปบ่มโดยการแช่น้ำ จนถึงเวลาที่จะทำการทดสอบ โดยทั่วไป จะทดสอบที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน (อายุคอนกรีตที่จะทดสอบขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งานคอนกรีตเป็นสำคัญ) เมื่อถึงกำหนดเวลาทดสอบ นำก้อนตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่ม ทิ้งไว้ให้ผิวแห้งซึ่งน้ำหนัก วัดขนาด จดบันทึกค่า แล้วนำไปทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตต่อไป



ข) ตักคอนกรีตใส่แบบ 3 ชั้น ให้มีปริมาตรแต่ละชั้นเท่า ๆ กัน



ค) แต่ละชั้นตบ 35 ครั้ง



ง) ปาดผิวหน้าให้เรียบ



จ) คลุมด้วยแผ่นพลาสติกไว้ เพื่อบ่มคอนกรีตในช่วงที่กำลังแข็งตัว



ฉ) ถอดแบบออก เขียนรายละเอียดของก้อนปูน แล้วนำไปบ่มในน้ำ

รูปที่ 15-13 วิธีการทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์



ก) ทำความสะอาดแบบหล่อ และทาสีทาแบบให้ทั่ว



ข) ตักคอนกรีตใส่แบบ 3 ชั้น ให้มีปริมาตรแต่ละชั้นเท่า ๆ กันแต่ละชั้นตัก 25 ครั้ง



ค) ปาดผิวหน้าให้เรียบ



ง) คลุมด้วยแผ่นพลาสติกไว้ เพื่อบ่มคอนกรีตในช่วงที่กำลังแข็งตัว



จ) ถอดแบบออก เขียนรายละเอียดของก้อนปูน แล้วนำไปบ่มในน้ำ

รูปที่ 15-15 วิธีการทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

15.6.2 การทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 192

Standard Practice for

Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

● ขอบข่าย

ส่วนหนึ่งของข้อปฏิบัตินี้ครอบคลุมวิธีการทำตัวอย่างทดสอบคอนกรีตในห้องปฏิบัติการภายใต้การควบคุมวัสดุและสภาพการทดสอบที่ถูกต้อง

● อุปกรณ์

1. แบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร
2. เหล็กตัก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 เซนติเมตร ปลายกลมมน
3. น้ำยาและแปรงทาแบบ
4. ประแจประกอบแบบ
5. ช้อนตัก
6. เครื่องเหล็ก
7. แผ่นพลาสติก



อุปกรณ์

- A แบบหล่อรูปร่างกระบอก
- B เหล็กตักปลายกลมมน
- C น้ำยาและแปรงทาแบบ
- D ประแจประกอบแบบ
- E ช้อนตัก
- F เครื่องเหล็ก
- G แผ่นพลาสติก

รูปที่ 15-14 อุปกรณ์ทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

● วิธีการทำตัวอย่างคอนกรีต

1. ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีต แล้วทาสีน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
2. ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่า ๆ กัน โดยประมาณ แต่ละชั้นตักด้วยเหล็กตัก 25 ที
3. เมื่อตักชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ
4. ตัวอย่างคอนกรีตที่ทำเสร็จแล้ว ควรใช้แผ่นพลาสติกคลุมไว้ เพื่อป้องกันน้ำระเหยออก ทั้งคอนกรีตไว้ในแบบประมาณ 16 - 24 ชั่วโมง (ระยะเวลาถอด

แบบหล่อขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการก่อตัวของคอนกรีต) หลังจากนั้นถอดแบบออก เขียนรายละเอียดต่าง ๆ บนหน้าก้อนปูน เช่น วันที่ทำตัวอย่าง, หมายเลข ตัวอย่าง เป็นต้น

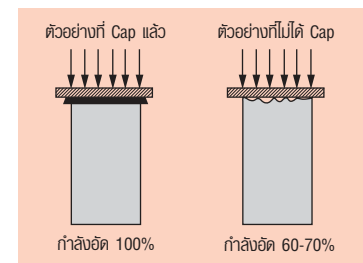
- จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปบ่มโดยการแช่น้ำ จนถึงเวลาที่จะทำการทดสอบ โดยทั่วไป จะทดสอบที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน (อายุคอนกรีตที่จะทดสอบขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งานคอนกรีตเป็นสำคัญ) เมื่อถึงกำหนดเวลาทดสอบ นำก้อนตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่ม ทิ้งไว้ให้ผิวแห้ง ชั่งน้ำหนัก ทำการ Cap ก้อนตัวอย่างทั้ง 2 ด้านด้วยก้ามะถันเสียก่อนวัดขนาด จดบันทึกค่า แล้วนำไปทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตต่อไป

● วัตถุประสงค์ของการ Cap ตัวอย่างรูปทรงกระบอก

- เพื่อให้ผิวทั้ง 2 ด้าน ของตัวอย่างเรียบ
- เพื่อให้แนวแกนของแท่งตัวอย่างตั้งได้ฉากกับแนวราบ หลังจาก Cap เสร็จเรียบร้อย และก้ามะถันแห้งดีแล้ว ก็สามารถนำก้อนตัวอย่างเข้าทดสอบได้



ก) ลักษณะของก้อนตัวอย่างที่ Cap แล้ว



ข) การเปรียบเทียบกำลังอัดระหว่างก้อนตัวอย่างที่ Cap และไม่ Cap หัก

รูปที่ 15-16 ตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่ Cap แล้ว

15.6.3 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

● มาตรฐานที่ใช้สำหรับตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

BS EN 12390 Part 3

Testing hardened concrete

Compressive strength of test specimens

● มาตรฐานที่ใช้สำหรับตัวอย่างรูปทรงกระบอก

ASTM C 39

Standard Test Method for

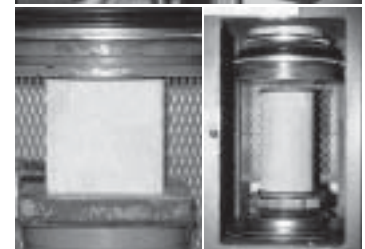
Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

● ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการหาลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต

● วิธีการทดสอบ

- นำก้อนตัวอย่าง วางกึ่งกลางของแท่นทดสอบ โดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด
- เปิดเครื่องทดสอบโดยในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมอ อัตราที่ใช้คือ 1.4 - 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
- กดก้อนตัวอย่างจนแตก บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้
- นำค่าน้ำหนักและพื้นที่หน้าตัดที่ได้มาหาค่ากำลังอัดเฉลี่ย



รูปที่ 15-17 การทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต



● การคำนวณ

$$\text{กำลังอัดประลัยของคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักกดประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}}$$

หน่วยที่ใช้ทั่วไปคือ

1. กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)
2. นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm²)

15.7 การประเมินผลการทดสอบ

วัตถุประสงค์หลักของการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากหน่วยงานก่อสร้างก็คือ เพื่อประเมินผลและความคุ้มค่าให้แน่ใจว่า คอนกรีตที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพและกำลังอัดที่สม่ำเสมออยู่ในระดับที่ต้องการ แต่เนื่องจากคอนกรีตไม่ใช่มวลที่เกิดจากการผสมของวัสดุจนเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นคอนกรีตจึงมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปในแต่ละรุ่นผสม และแม้แต่รุ่นผสมเดียวกันก็ยังมีคุณสมบัติผันแปรกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ วัสดุผสม, ส่วนผสม, การผสม, การลำเลียง, การเท, การอัดแน่น, การแต่งผิวหน้า, และการบ่ม นอกจากการผันแปรอันเกิดจากลักษณะของคอนกรีตเองแล้วคุณสมบัติของคอนกรีตยังถูกทำให้เปลี่ยนแปลงออกไปได้

เนื่องจากวิธีการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัตินั้น ๆ อีกด้วย เช่น การสุ่มตัวอย่างคอนกรีตสด, การทำตัวอย่าง, การบ่มตัวอย่าง, และการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต เป็นต้น สรุปแล้วก็คือ ในการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากสนามต้องยอมรับว่า ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าที่แตกต่างกัน และความผันแปรของค่ากำลังอัดนี้จะต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ด้วย สำหรับการกำหนดขอบเขตและการควบคุมนั้นสามารถทำได้ด้วยวิธีการทางสถิติพร้อมกันกับความเข้าใจในลักษณะของคอนกรีต และการทดสอบคอนกรีตด้วย

● ความผันแปรของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต

กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับการควบคุมทั้งวัสดุผสม กระบวนการผลิต และกระบวนการทดสอบ ซึ่งเมื่อสรุปจะได้ว่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต มีค่าผันแปรอันเนื่องจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการดังสรุปไว้ใน **ตารางที่ 15-5** ได้แก่

1. ความผันแปรเนื่องจากกระบวนการผลิต (หรือความผันแปรเนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีต)
2. ความผันแปรเนื่องจากกระบวนการควบคุมคุณภาพ (หรือความผันแปรเนื่องจากการทดสอบ)

ความผันแปรเนื่องจากกระบวนการผลิต	ความผันแปรเนื่องจากกระบวนการควบคุมคุณภาพ
- การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ - ความผันแปรของคุณภาพวัสดุและส่วนผสมคอนกรีต	- วิธีการสุ่มตัวอย่างไม่เหมาะสม - วิธีการเตรียมตัวอย่างไม่ถูกต้อง - วิธีการบ่มไม่ถูกต้อง - วิธีดำเนินการทดสอบไม่ดี

ตารางที่ 15-5 สรุปความผันแปรของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต



ก) การวัดขนาดของแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์



ข) การตรวจสอบมุมฉากของแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์



ค) การวัดขนาดของแบบหล่อรูปทรงกระบอก

รูปที่ 15-18 การตรวจสอบรูปร่างและขนาดของแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตว่าได้มาตรฐานหรือไม่ เพื่อลดความผันแปรของกำลังอัดที่เกิดจากกระบวนการควบคุมคุณภาพ

● การประเมินผล

1. การประเมินผลความผันแปรเนื่องจากกระบวนการผลิต : ในการประเมินผลนี้ จะพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าการควบคุมยังไม่ดีพอ ต้องปรับปรุง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานกับระดับการควบคุม สรุปได้ดัง ตารางที่ 15-6
2. การประเมินผลความผันแปรเนื่องจากกระบวนการควบคุมคุณภาพ : ในการประเมินผลนี้ จะพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าการควบคุมยังไม่ดีพอ ต้องปรับปรุง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรกับระดับการควบคุม สรุปได้ดัง ตารางที่ 15-7

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กก./ตร.ซม.)	ระดับการควบคุมกระบวนการผลิต
น้อยกว่า 28	ดีเลิศ
28 - < 35	ดีมาก
35 - < 42	ดี
42 - < 49	พอใช้
มากกว่า 49	ต้องปรับปรุง

ตารางที่ 15-6 เกณฑ์ในการประเมินผลความผันแปรเนื่องจากกระบวนการผลิต

สัมประสิทธิ์ความผันแปร (กก./ตร.ซม.)	ระดับการควบคุมกระบวนการควบคุมคุณภาพ
น้อยกว่า 3.0	ดีเลิศ
3.0 - < 4.0	ดีมาก
4.0 - < 5.0	ดี
5.0 - < 6.0	พอใช้
มากกว่า 6.0	ต้องปรับปรุง

โรงงาน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กก./ ตร.ซม.)	ค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (%)
A	42	7.0
B	33	5.0
C	55	3.0

ก) ตัวอย่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร

โรงงาน	ระดับการควบคุมกระบวนการผลิต	ระดับการควบคุมกระบวนการควบคุมคุณภาพ
A	พอใช้	ต้องปรับปรุง
B	ดีมาก	พอใช้
C	ต้องปรับปรุง	ดีมาก

ข) ตัวอย่างการประเมินผลในรูปของระดับการควบคุมกระบวนการผลิตและระดับการควบคุมกระบวนการควบคุมคุณภาพ

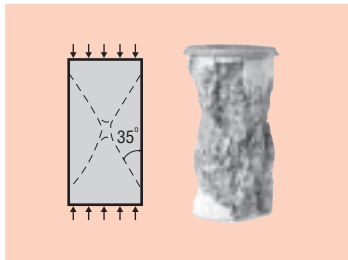
ตารางที่ 15-7 เกณฑ์ในการประเมินผลความผันแปรเนื่องจากกระบวนการควบคุมคุณภาพ

ตารางที่ 15-8 ตัวอย่างการประเมินผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตของโรงงานผลิตคอนกรีตทั้ง 3 แห่ง

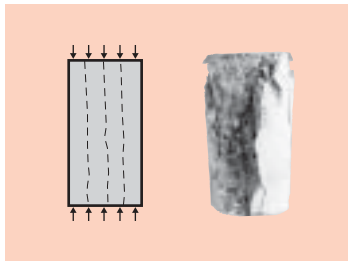
15.8 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างคอนกรีต

ลักษณะการชำรุดแตกหักของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่รับแรงอัด มักแตกออกเป็นรูปกรวยคู่ (Shear Failure) โดยมีปลายกรวยอยู่ที่กึ่งกลางของทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 15-19 ก) โดยเกิดจากการถูกเฉือนในระนาบที่เอียงกับแรงกด อันเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุผสมและความเสียดทานภายใน ดังนั้นมุมของการแตกหัก จึงมีค่าเท่ากับ $45^\circ - \phi/2$ เมื่อ ϕ เป็นมุมของความเสียดทานภายในของคอนกรีต ซึ่งมีค่าประมาณ 20°C ดังนั้นระนาบของความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตจึงเอียงประมาณ 35°C ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่าง อาจเป็นการแตกแบบแยกออก (Splitting Failure) ดังรูปที่ 15-19 ข) หรืออาจเป็นการรวมของลักษณะการแตกของทั้ง 2 แบบ (Combination Shear and Splitting Failure) ดัง รูปที่ 15-19 ค)

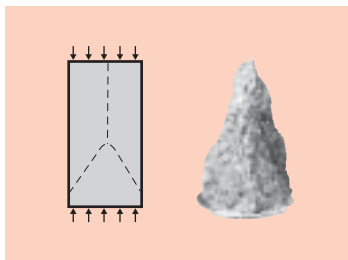
ส่วนลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่ถูกต้องจะแตกเป็นรูปปิรามิด ดังแสดงใน รูปที่ 15-20



ก) Shear or Cone Failure

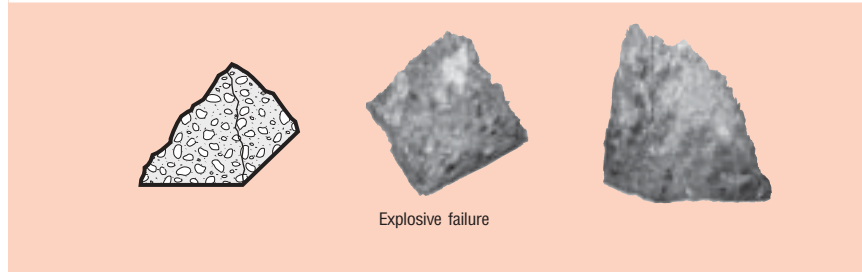
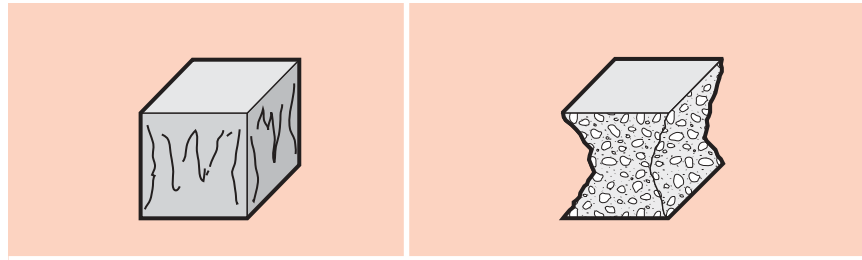


ข) Splitting or Columnar Failure

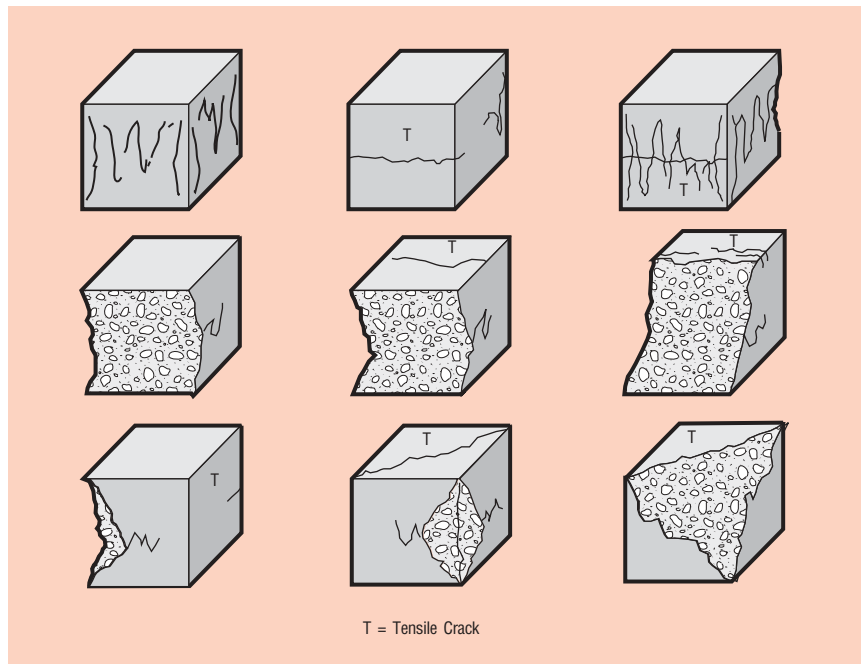


ค) Combination Shear and Splitting Failure

รูปที่ 15-19 การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก



ก) ลักษณะการแตกที่ถูกต้อง



ข) ลักษณะการแตกที่ไม่ถูกต้อง

รูปที่ 15-20 การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

มาตรฐานอ้างอิง

- มอก. 213-2520 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ
- มอก. 409-2525 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต
- E.I.T.Standard 1014-46 : ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต, คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- ASTM C 39 : 2004 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- ASTM C 192 : 2002 : Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
- BS EN 12390-1 : 2000 : Testing hardened concrete---Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds
- BS EN 12390-2 : 2000 : Testing hardened concrete---Part 2: Making and curing specimens for strength tests
- BS EN 12390-3 : 2002 : Testing hardened concrete---Part 3: Compressive strength of test specimens
- BS EN 12390-4 : 2002 : Testing hardened concrete---Part 4: Compressive strength---Specification for testing machines

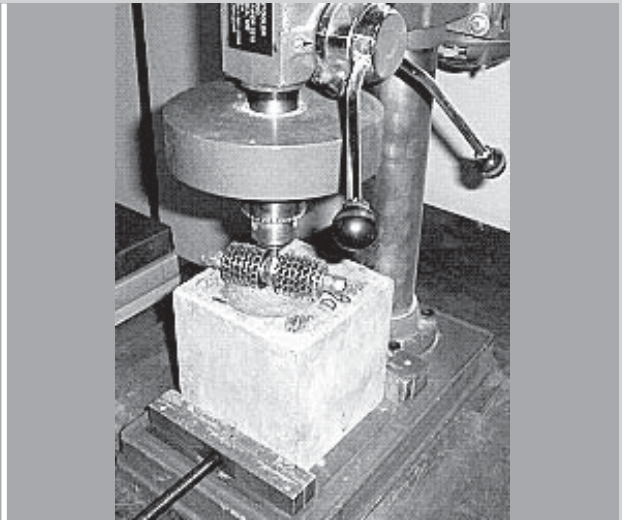
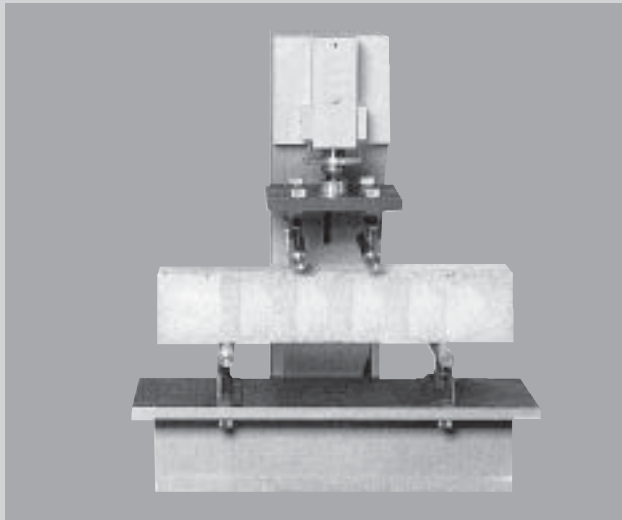
เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, “คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, “คู่มือการทดสอบหิน ทราय และคอนกรีต”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, 2543.
- 3 อิทธิพร ศิริสวัสดิ์ และคณะนักเรียนฯ, “เทคนิคและวิธีการทำคอนกรีตกำลังอัดสูงที่อายุ 1 วัน”, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์), โครงการแข่งขันทำคอนกรีตกำลังอัดสูง คอนกรีตพลังช้าง, 2546.
- 4 เอกสารวิชาการของคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2545.
- 5 A. M. Neville, “Properties of Concrete”, Fourth Edition, 1999.

คุณสมบัติต้านกำลังอื่น ๆ

บทที่

16



ก) การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต (Flexural Strength Test)

ข) การทดสอบความต้านทานการขัดสี (Abrasion Resistance)

รูปที่ 16-1 การทดสอบกำลังชนิดต่าง ๆ ของคอนกรีต

บทคัดย่อ

นอกจากกำลังอัดแล้ว คุณสมบัติของคอนกรีตเชิงตัวแล้วในด้านกำลังชนิดอื่น ๆ ที่น่าสนใจและควรศึกษาไว้ ได้แก่ กำลังดึง, กำลังดัด, กำลังเฉือน, กำลังยึดเหนี่ยว, กำลังกระแทก, และความต้านทานการขัดสี

กำลังดึง คือ ความต้านทานในด้านการรับแรงดึงของคอนกรีต มีค่าต่ำมาก ประมาณ 10% ของกำลังอัดประลัย ถึงแม้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตจะไม่ได้รับแรงดึงโดยตรงก็ตาม แต่การทราบค่ากำลังดึงนี้จะช่วยในการควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีต

กำลังเฉือน คือ ความต้านทานการกระทำของแรงสองแรง ซึ่งมีขนาดเท่ากันและขนานกัน โดยกระทำตรงกันข้ามบนระนาบซึ่งมีระยะห่างกันเล็กน้อย แรงเฉือนมักจะเกิดขึ้นพร้อมกับแรงดึงและแรงดัดเสมอ กำลังต้านทานแรงเฉือนมีค่าประมาณ 15 - 25% ของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังยึดเหนี่ยว คือ ความต้านทานการลื่นไถลของเหล็กเสริมที่หล่ออยู่ภายในเนื้อคอนกรีต แรงต้านทานนี้เกิดจากการยึดติดกันกับซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วจากความเสียดทานระหว่างผิวเหล็กกับคอนกรีต



16.1 กำลังดึง (Tensile Strength)

ความต้านทานในด้านการรับแรงดึงของคอนกรีต มีค่าต่ำมาก คือ ประมาณ 10% ของกำลังอัดประลัย ถึงแม้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตจะไม่ได้รับแรงดึงโดยตรงก็ตาม แต่การทราบค่ากำลังดึงนี้จะช่วยในการควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีตจากผลกระทบต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ การหดตัว และมีประโยชน์อย่างมากในงานคอนกรีตอัดแรง งานสิ่งก่อสร้างเก็บของเหลว เป็นต้น

วิธีการหาค่ากำลังดึงของคอนกรีต ทำได้ 3 วิธี ได้แก่

1. Direct Tensile Strength Test
2. Flexural Strength Test
3. Splitting Tensile Strength Test

16.1.1 Direct Tensile Strength Test

โดยปกติแล้วการให้แรงดึงโดยตรงแก่ก้อนตัวอย่างทดสอบคอนกรีต จะทำได้ยาก เพราะมักเกิดความคลาดเคลื่อนของผลทดสอบ เนื่องจาก

1. เกิดการเยื้องศูนย์ของก้อนตัวอย่าง ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญมาก
2. มีหน่วยแรงอื่นแทรกเข้ามาจากหัวจับยึด ซึ่งเกิดเป็นหน่วยแรงเฉพะที่และในที่สุดจะเกิดการแตกที่บริเวณนี้ จากนั้นรอยแตกร้าวจะแพร่ขยายไปอย่างรวดเร็ว กำลังดึงที่ได้จะเป็นของบริเวณที่มีกำลังต่ำสุด ซึ่งไม่ตรงกับค่ากำลังของเนื้อคอนกรีตจริง

จากเหตุผลข้างต้น ผลจากการทดสอบจึงให้ค่าที่แตกต่างกันได้มาก ทำให้ยังไม่มี การกำหนดมาตรฐานวิธีการทดสอบแบบนี้ขึ้น

16.1.2 Flexural Strength Test

เนื่องจากการหาค่ากำลังดึงของคอนกรีตโดยตรงทำได้ยาก จึงนิยามหาค่ากำลังดึงของคอนกรีตจากการทดสอบตัวอย่างคานคอนกรีตภายใต้แรงดัดแทน โดยค่าหน่วยแรงดึงจะเกิดสูงสุด ณ จุดแตกร้าวที่บริเวณท้องคาน ที่เรียกว่า “โมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture)”

กำลังดัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบนี้ จะแตกต่างจากกำลังดึงโดยตรงของคอนกรีต เนื่องจากหน่วยการยึดหดตัวในคอนกรีตที่เกิดขึ้นจากการดัดขึ้นอยู่กับลักษณะส่วนโค้ง มีใช้การยึดหดในลักษณะเส้นตรง เรียกว่าผลกระทบจาก Strain Gradient ซึ่งทำให้โมดูลัสการแตกร้าวมีค่าแตกต่างกันไปตามขนาดความลึกของคานทดสอบ

ค่ากำลังดัดที่ทดสอบได้นี้มีประโยชน์สำหรับงานควบคุมคุณภาพคอนกรีตในงานถนนและพื้นสนามบิน เพราะคอนกรีตได้รับการออกแบบให้รับน้ำหนักในลักษณะของแรงดัด



รูปที่ 16-2 ลักษณะการแตกร้าวของตัวอย่างรูปคาน จากการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต (Flexural Strength Test)

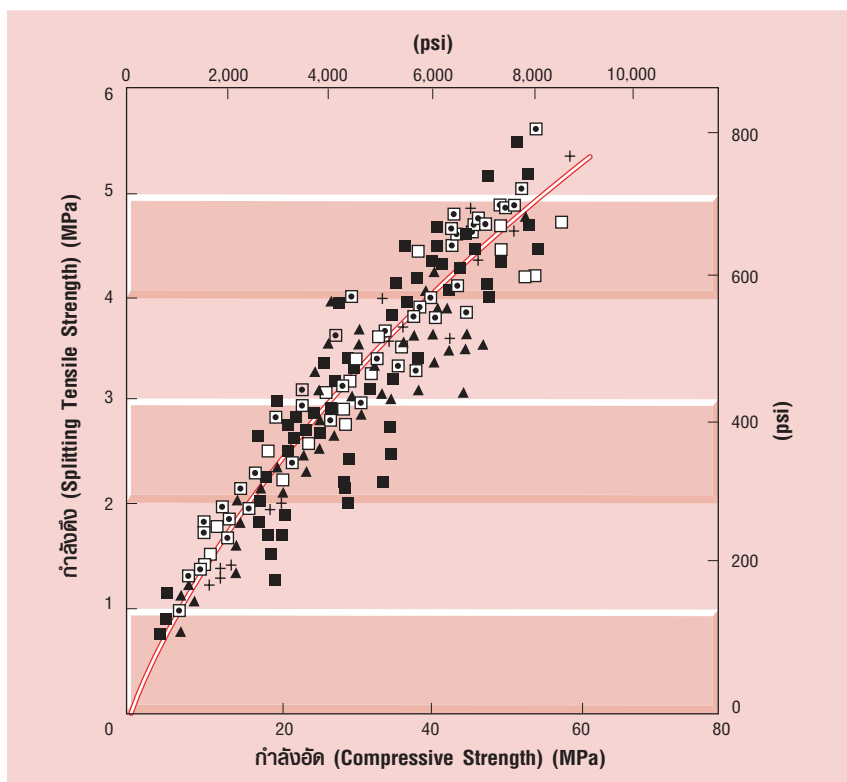
16.1.3 Splitting Tensile Strength Test

การทดสอบนี้เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ทดสอบหาค่ากำลังดึงของคอนกรีตโดยใช้ก้อนตัวอย่างทดสอบคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน วางให้แกนตามยาวอยู่ในแนวนอนบนเครื่องทดสอบกำลังอัด ก่อนตัวอย่างจะแตกในแนวตั้งตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง

การทดสอบวิธีนี้ ให้ค่าที่สม่ำเสมอดีกว่า 2 วิธีข้างต้น แม้จะไม่ได้ค่ากำลังดึงที่แท้จริง เพราะบริเวณปลายทั้งสองจะเป็นบริเวณรับแรงอัด (Compression Zone) แต่ค่าที่ได้จะสูงขึ้นกว่าแรงดึงจริงของคอนกรีต ประมาณ 5 - 12% ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกว่าค่าที่ได้จากค่ากำลังอัด และข้อดีของวิธีนี้ คือ ก้อนตัวอย่างสามารถใช้ทดสอบได้ทั้งกำลังอัดและกำลังดึง



รูปที่ 16-3 ก้อนตัวอย่างจากการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตโดยวิธี Splitting Tensile Strength Test จะแตกในแนวตั้งตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง



รูปที่ 16-4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึง (Splitting Tensile Strength) และกำลังอัด 4

ผลการทดสอบทั้ง 3 วิธี ให้ค่ากำลังที่แตกต่างกัน โดย Flexural Strength Test ให้ค่าสูงสุด และ Direct Tensile Strength Test ให้ค่าต่ำสุด เนื่องจากทั้ง Flexural Strength Test และ Splitting Tensile Strength Test จะเกี่ยวข้องกับการกระจายของหน่วยแรงที่ไม่สม่ำเสมอ หรือไม่ใช้กำลังดึงที่แท้จริง

● ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังดึง

1. วิธีการทดสอบ

- Flexural Strength Test ให้ค่าสูงสุด
- Direct Tensile Strength Test ให้ค่าต่ำสุด



2. มวลรวม

- Direct Tensile Strength Test และ Splitting Tensile Strength Test จะกระทบน้อย
- Flexural Strength Test มวลรวมที่เป็นเหลี่ยมมุม จะส่งผลให้ค่าสูงกว่ามวลรวมที่กลม

3. ความชื้น

- Direct Tensile Strength Test และ Splitting Tensile Strength Test จะกระทบน้อย
- Flexural Strength Test ทดสอบในขณะที่ก้อนตัวอย่างแห้งจะให้ค่าต่ำกว่าก้อนตัวอย่างที่อยู่ในสภาพเปียกชื้น

● ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงและกำลังอัด

อัตราส่วนของกำลังดึงต่อกำลังอัด จะขึ้นอยู่กับระดับของกำลังของคอนกรีต เมื่อกำลังอัดสูงขึ้น อัตราส่วนระหว่างกำลังดึงต่อกำลังอัดจะต่ำลง

Strength of concrete (psi)			Ratio (%)		
Compressive	Modulus of rupture	Tensile	Modulus of rupture to compressive strength	Tensile strength to compressive strength	Tensile strength to modulus of rupture
1,000	230	110	23.0	11.0	48
2,000	375	200	18.8	10.0	53
3,000	485	275	16.2	9.2	57
4,000	580	340	14.5	8.5	59
5,000	675	400	13.5	8.0	59
6,000	765	460	12.8	7.7	60
7,000	855	520	12.2	7.4	61
8,000	930	580	11.6	7.2	62
9,000	1,010	630	11.2	7.0	63

ตารางที่ 16-1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด, กำลังดึง, และกำลังดึงของคอนกรีต 5

16.2 กำลังเฉือน (Shear Strength)

การเฉือนเป็นการกระทำของแรงสองแรง ซึ่งมีขนาดเท่ากันและขนานกัน โดยกระทำตรงกันข้ามบนระนาบซึ่งมีระยะห่างกันเล็กน้อย แรงเฉือนมักจะเกิดขึ้นพร้อมกับแรงดึงและแรงดัดเสมอ การทดสอบหาความต้านทานแรงเฉือนในคอนกรีตโดยตรงนี้ไม่สะดวก เช่นเดียวกับการทดสอบหาความต้านทานแรงดึง ทั้งนี้เป็นเพราะค่าแรงดัด แรงกด และแรงดึงในแนวทแยงจะเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง ทำให้ผลการทดสอบไม่ถูกต้อง

ปกติการทดสอบหาความต้านทานแรงเฉือน กระทำได้โดยการบิดแท่งตัวอย่าง ทดสอบรูปทรงกระบอก พบว่า กำลังต้านทานแรงเฉือนมีค่าประมาณ 15 - 25% ของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ค่าความต้านทานแรงเฉือนนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของคอนกรีต

เช่นเดียวกับค่ากำลังอัดประลัย กล่าวคือ คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์มากและมีขนาดผลของมวลรวมดี ย่อมให้ค่าความต้านทานแรงเฉือนสูงกว่าคอนกรีตที่มีขนาดผลของมวลรวมออกหยาบ

16.3 กำลังยึดเหนี่ยว (Bond Strength)

ความสำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กให้รับแรงดัดก็คือ ความต้านทานการลื่นไถลของเหล็กเสริมที่หล่ออยู่ภายในเนื้อคอนกรีต แรงต้านทานนี้เกิดจากการยึดติดกันกับซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว จากความเสียดทานระหว่างผิวเหล็กกับคอนกรีต และจากแรงกดที่ข้อในเหล็กข้ออ้อย งานก่อสร้างสมัยใหม่นี้ มักนิยมใช้เหล็กข้ออ้อยกันมาก ขนาดและระยะของข้อต้องเพียงพอที่จะเกิดกำลังยึดเหนี่ยวกับเนื้อคอนกรีต มาตรฐานการออกแบบมักกำหนดค่าแรงยึดเหนี่ยวเป็นเปอร์เซ็นต์ของกำลังอัดของคอนกรีต และขนาดของเหล็กเสริมที่ใช้

แรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตยังขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ สารผสมเพิ่ม และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ คอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์มากจะมีแรงยึดเหนี่ยวเพิ่มมากขึ้น แรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตในสถานะที่แห้งจะมากกว่าในสถานะที่ชื้น และแรงยึดเหนี่ยวกับเหล็กเสริมในแนวนอนจะน้อยกว่าในแนวตั้ง เพราะน้ำที่เกิดจากการเยิ้มอาจไปเกาะอยู่ใต้เหล็กเสริมตามแนวนอนได้ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจึงเกิดเป็นรูโพรงใต้เหล็กเสริมนั้น ทำให้ลดกำลังยึดเหนี่ยวลง

การทดสอบเพื่อหาแรงยึดเหนี่ยวกับเหล็กเสริม ทำได้โดยการดึงเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร ที่หล่ออยู่ในก้อนคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 15 เซนติเมตร วัดระยะเลื่อนไถล ในขณะที่ยึดแรงดึงที่เหล็กนั้น แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่างกำลังยึดเหนี่ยวกับระยะเลื่อนไถล การทดสอบกระทำจนกว่าแรงที่ใช้ดึงที่เหล็กมีค่าเท่ากับกำลังคราก (Yield Strength) ของเหล็กนั้น หรือเมื่อคอนกรีตเริ่มชำรุดแยกออกจากกัน หรือจนกระทั่งระยะเลื่อนไถลมีค่ามากกว่า 2.5 มิลลิเมตร

16.4 กำลังกระแทก (Impact Strength)

ตัวอย่างคอนกรีตที่ต้องมีคุณสมบัติรับแรงกระแทกได้ดี เช่น คอนกรีตสำหรับงานเสาเข็มตอก ซึ่งต้องมีความสามารถที่จะทนต่อการกระแทกและการดูดซับพลังงานได้เป็นอย่างดี

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกระแทกกับกำลังอัดขึ้นอยู่กับ

1. ชนิดของมวลรวมหยาบ : มวลรวมที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำและมีค่า Poisson Ratio ต่ำ จะสามารถรับแรงกระแทกได้ดี
2. ความชื้นของคอนกรีต : คอนกรีตที่ชื้นจะให้กำลังกระแทกต่ำกว่าคอนกรีตที่แห้ง
3. ลักษณะของมวลรวม : กำลังกระแทกจะสูงเมื่อใช้หินที่เป็นเหลี่ยมมุมและผิวหยาบ หินยังมีขนาดเล็ก จะปรับปรุงคุณสมบัติด้านการรับกำลังกระแทก
4. ปริมาณปูนซีเมนต์ : เพื่อให้ได้กำลังกระแทกที่เหมาะสม ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ ไม่ควรเกิน 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 16-5 การทดสอบความต้านทานการขัดสี (Abrasion Resistance) ตามมาตรฐาน ASTM C 944

16.5 ความต้านทานการขัดสี (Abrasion Resistance)

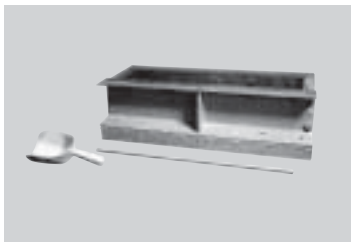
คุณสมบัตินี้ทดสอบได้โดยการวัดค่าความสึกที่เกิดจากการสึกหรอของก้อนตัวอย่างที่ผ่านการขัดผิว หรือน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบที่หายไปภายหลังการขัดผิว

ความต้านทานการขัดสีนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. ความต้านทานการขัดสีจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำลง หรือมีกำลังอัดสูงขึ้น
2. ความต้านทานการขัดสีจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนมวลรวมต่อปูนซีเมนต์สูงขึ้น
3. ความต้านทานการขัดสีจะต่ำมาก สำหรับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา
4. ความต้านทานการขัดสีจะเพิ่มขึ้น ถ้าการเยิ้มเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย
5. ความต้านทานการขัดสีจะเพิ่มขึ้น ถ้าเลื่อนเวลาการแต่งผิวหน้าคอนกรีตออกไปเล็กน้อย
6. ประการที่สำคัญที่สุด คือ การบ่มคอนกรีตอย่างถูกต้องและเพียงพอ จะช่วยเพิ่มความต้านทานการขัดสีอย่างมาก

16.6 การทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังอื่น ๆ ของคอนกรีต

16.6.1 การทำตัวอย่างคอนกรีตรูปคาน



ก) แบบหล่อรูปคาน, เหล็กดำ, และข้อรัด



ข) เครื่องจีเซย์คอนกรีต

รูปที่ 16-6 อุปกรณ์ทำตัวอย่างทดสอบคอนกรีตรูปคาน

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 192

Standard Practice for

Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

● ขอบข่าย

ส่วนหนึ่งของข้อปฏิบัตินี้ครอบคลุมวิธีการทำตัวอย่างคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ ภายใต้การควบคุมวัสดุและสภาพการทดสอบที่ถูกต้อง

● อุปกรณ์

1. แบบหล่อรูปคานขนาด 15 x 15 x 60 เซนติเมตร
2. เหล็กดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ปลายกลมมน หรือเครื่องจีเซย์คอนกรีต
3. ข้อรัด และเกรียงเหล็ก

● วิธีการทำตัวอย่างคอนกรีต

1. ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทามันที่ผิวภายในทุกด้าน
2. ตักคอนกรีตใส่ลงแบบ โดยแบ่งเป็น 2 ชั้นเท่า ๆ กันโดยประมาณ แต่ละชั้นตักด้วยเหล็กดำ 60 ที หลังจากนั้นปาดผิวหน้าให้เรียบ

3. ตัวอย่างคอนกรีตที่ทำเสร็จแล้ว ควรใช้แผ่นพลาสติกหรือกระสอบที่เปียกชื้นคลุมไว้ เพื่อป้องกันน้ำระเหยออก ทั้งคอนกรีตไว้ในแบบประมาณ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นถอดแบบออก เขียนรายละเอียดต่าง ๆ บนหน้าก้อนปูน เช่น วันที่ทำตัวอย่าง, หมายเลขตัวอย่าง เป็นต้น
4. จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปบ่มโดยการแช่น้ำ จนถึงเวลาที่จะทำการทดสอบ โดยทั่วไปจะทดสอบที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน เมื่อถึงกำหนดเวลาทดสอบ นำก้อนตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่ม ทิ้งไว้ให้ผิวแห้ง ชั่งน้ำหนัก วัดขนาด จดบันทึกค่า แล้วนำไปทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตต่อไป

16.6.2 การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต (Flexural Strength Test)

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 78

Standard Test Method for

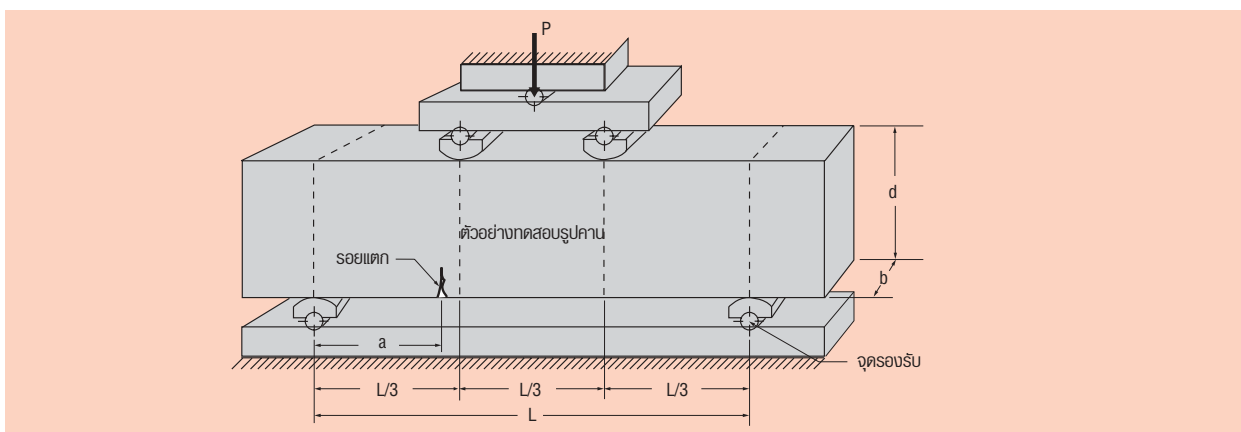
Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)

● ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการหาลังการดัดของตัวอย่างคอนกรีตโดยใช้ Simple Beam with Third-Point Loading

● วิธีการทดสอบ

1. นำแท่นทดสอบตัวอย่างรูปคาน ติดเข้ากับเครื่องทดสอบ
2. แบ่งก้อนตัวอย่างตามยาว โดยเหล็บริเวณปลายไว้สองส่วน ส่วนละ 7.5 เซนติเมตร ส่วนภายในที่เหลือแบ่งเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน ส่วนละ 15 เซนติเมตร
3. วางก้อนตัวอย่างลงบนแท่น โดยให้รอยขีดอยู่ตรงกับฐานของแท่น แล้วนำแท่นกดด้านบน วางบนก้อนตัวอย่างให้ตรงรอยขีดเช่นกัน



รูปที่ 16-7 การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต (Flexural Strength Test)



4. ตั้งน้ำหนักกดให้คงที่ อัตราที่ใช้คือ 0.14 - 0.20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
5. เปิดเครื่องกดน้ำหนัก จนก้อนตัวอย่างหัก แล้วบันทึกค่าน้ำหนักสูงสุด เพื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังตัด

● การคำนวณ

กรณีที่ก้อนตัวอย่างแตกอยู่ในช่วงกลาง

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

กรณีที่ก้อนตัวอย่างไม่แตกอยู่ในช่วงกลาง

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

R = โมดูลัสการแตกร้าว (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

P = น้ำหนักกดสูงสุด (กิโลกรัม)

L = ช่วงความยาวของตัวอย่างคาน (เซนติเมตร)

a = ระยะทางเฉลี่ยจากจุดที่แตกไปยังจุดรองรับที่ใกล้กว่า โดยวัดด้านท้องคานซึ่งเกิดแรงดึง (เซนติเมตร)

b = ความกว้างของตัวอย่างคาน (เซนติเมตร)

d = ความลึกของตัวอย่างคาน (เซนติเมตร)

16.6.3 การทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตโดยวิธี Splitting Tensile Strength Test

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 496

Standard Test Method for

Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens

● ขอบข่าย

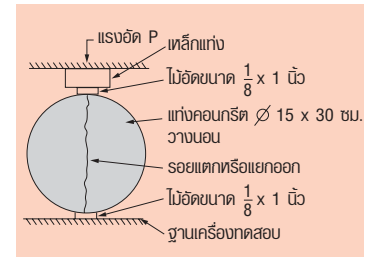
วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการทำ Splitting Tensile Strength ของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

● เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบกำลังอัด
2. แผ่นไม้อัดขนาด 0.3 x 2.5 x 30 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น
3. ตลับเมตร

● วิธีการทดสอบ

1. วัดและบันทึกความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่างคอนกรีต โดยวัด 2 แนวที่ตั้งฉากกันให้ละเอียดในหน่วยมิลลิเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ย
2. วางก้อนตัวอย่างในแนวนอนใต้หัวกดโดยรองด้านบนและด้านล่างก้อนตัวอย่างด้วยแผ่นไม้อัด
3. เพิ่มแรงกดบนตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง และสม่ำเสมอ ด้วยอัตรา 0.12 - 0.23 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที จนก้อนตัวอย่างพังในลักษณะแตกในแนวตั้งตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง



รูปที่ 16-8 การทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตโดยวิธี Splitting Tensile Strength Test

● การคำนวณ

สามารถคำนวณกำลังต้านทานแรงดึงบนระนาบแตกראวได้ตามสมการต่อไปนี้

$$f_s = \frac{2P}{\pi dL}$$

f_s = Splitting Tensile Strength (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

P = น้ำหนักกดสูงสุด (กิโลกรัม)

L = ความยาวของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก (เซนติเมตร)

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก (เซนติเมตร)



มาตรฐานอ้างอิง

- ASTM C 78 : 2002 : Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)
- ASTM C 192 : 2002 : Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
- ASTM C 496 : 2004 : Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- ASTM C 944 : 1999 : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method
- BS EN 12390-1 : 2000 : Testing hardened concrete---Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds
- BS EN 12390-2 : 2000 : Testing hardened concrete---Part 2: Making and curing specimens for strength tests
- BS EN 12390-4 : 2000 : Testing hardened concrete---Part 4: Compressive strength---Specification for testing machines
- BS EN 12390-5 : 2000 : Testing hardened concrete---Part 5: Flexural strength of test specimens
- BS EN 12390-6 : 2000 : Testing hardened concrete---Part 6: Tensile splitting strength of test specimens
- BS EN 12390-7 : 2000 : Testing hardened concrete---Part 7: Density of hardened concrete
- BS EN 12390-8 : 2000 : Testing hardened concrete---Part 8: Depth of penetration of water under pressure

เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร์, “คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, “คู่มือการทดสอบหิน ทราย และคอนกรีต”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, 2543.
- 3 เอกสารวิชาการของคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2545.
- 4 A. M. Neville, “Properties of Concrete”, Fourth Edition, 1999.
- 5 P. Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, “Concrete Structure, Properties, and Materials”, Second Edition, 1993.

คอนกรีตผสมเสร็จ

บทที่

17



รูปที่ 17-1 คอนกรีตผสมเสร็จเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีของวงการก่อสร้าง

บทคัดย่อ

คอนกรีตผสมเสร็จ คือ ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ที่ผสมกันเบ็ดเสร็จจากโรงงาน ซึ่งตั้งอยู่นอกหรือในหน่วยงานก่อสร้าง รวมถึงการบริการจัดส่งไปยังหน่วยงานก่อสร้างโดยรถผสมคอนกรีต และจะต้องเป็นที่พึงพอใจของทั้งวิศวกรผู้ออกแบบหรือผู้ควบคุมงาน และผู้รับเหมาก่อสร้าง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จเป็นทั้งการขายผลิตภัณฑ์และการขายบริการ

ปัจจุบันคอนกรีตผสมเสร็จได้เข้ามาทดแทนการใช้คอนกรีตผสมไม่เล็กด้วยเหตุผลที่สำคัญ คือ เวลาและสถานที่ในการก่อสร้างจำกัด, แรงงานหายาก, และวงจรการก่อสร้างต้องการคอนกรีตที่มีคุณภาพสูงขึ้น

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจึงได้จัดทำ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ หรือ มอก. 213 ขึ้น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 ซึ่งมีขอบเขตกำหนด ประเภทและชั้นคุณภาพ, วัสดุ, การทำ, คุณสมบัติที่ต้องการ, การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน, และการทดสอบคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งผสมมาจากโรงงานหรือโดยรถผสมคอนกรีต และส่งจนถึงสถานที่ก่อสร้าง โดยไม่ครอบคลุมการเทและการบ่มคอนกรีต



17.1 บทนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันมาช้านาน ในอดีต การใช้คอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างนั้น ผู้รับเหมาจะต้องเริ่มจากการสั่งซื้อหิน ทราย ปูนซีเมนต์ และน้ำยาผสมคอนกรีต จากนั้น จะต้องจัดหาเครื่องผสมและทีมงาน แต่ในปัจจุบันคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งคือ คอนกรีตที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้วจากโรงงาน และลำเลียงใส่รถเพื่อจัดส่งให้หน่วยงานก่อสร้าง ได้เข้ามาทดแทนการใช้คอนกรีตผสมไม่เล็กด้วยเหตุผลที่สำคัญ คือ

1. เวลาและสถานที่ในการก่อสร้างจำกัด
2. แรงงานหายาก
3. วงการก่อสร้างต้องการคอนกรีตที่มีคุณภาพสูงขึ้น

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิวัฒนาการของคอนกรีตผสมเสร็จตั้งแต่ประวัติความเป็นมา, รูปแบบการเจริญเติบโต, ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต, กระบวนการผลิต, โรงงานและรถผสมคอนกรีต, กระบวนการควบคุมคุณภาพ, คุณลักษณะเด่น, ข้อแนะนำในการใช้, สรุปประโยชน์ที่ได้จากการใช้คอนกรีตผสมเสร็จเมื่อเทียบกับการใช้คอนกรีตผสมไม่เล็ก, และมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จ

17.2 คอนกรีตผสมเสร็จคืออะไร

คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready-Mixed Concrete) คือ ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ที่ผสมกันเบ็ดเสร็จจากโรงงาน ซึ่งตั้งอยู่นอกหรือในหน่วยงานก่อสร้าง รวมถึงการบริการจัดส่งไปยังหน่วยงานก่อสร้างโดยรถผสมคอนกรีต ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จเป็นทั้งการขายผลิตภัณฑ์และการขายบริการ

คอนกรีตผสมเสร็จที่ผลิตขึ้นนี้ จะต้องเป็นที่พึงพอใจของทั้ง วิศวกรผู้ออกแบบหรือผู้ควบคุมงาน และผู้รับเหมาก่อสร้าง โดยมีรายละเอียดดัง *ตารางที่ 17-1*

สิ่งที่ผู้ควบคุมงานต้องการ	สิ่งที่ผู้รับเหมาก่อสร้างต้องการ
1. คอนกรีตที่มีคุณภาพตามข้อกำหนดทั้งในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว	1. การจัดส่งตรงต่อเวลาในอัตราที่เหมาะสมกับสภาพการเท
2. คอนกรีตที่ผลิตจากบริษัทที่มีประสบการณ์, มีระบบการจัดส่งที่ดี, และมีความสามารถจัดส่งอย่างต่อเนื่อง	2. มีค่ายุบตัวที่เหมาะสมกับวิธีการเท
	3. มีปริมาณถูกต้อง
	4. ราคาคอนกรีตรวมค่าขนส่งต้องเป็นราคาที่เหมาะสม

ตารางที่ 17-1 สิ่งที่ผู้ควบคุมงาน และผู้รับเหมาก่อสร้างต้องการ

จะพบว่า ผู้ควบคุมงานให้ความสนใจในคุณภาพคอนกรีตเป็นส่วนใหญ่ในขณะที่ผู้รับเหมาก่อสร้างให้ความสนใจในเรื่องการบริการและราคาที่เหมาะสม

17.3 ประวัติคอนกรีตผสมเสร็จ

แนวความคิดในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จสำหรับการก่อสร้างได้เริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2415 โดย Deacon วิศวกรชาวอังกฤษ โดยเขาบรรยายว่า “คงเป็นประโยชน์อย่างมากต่อวงการก่อสร้าง หากมีการจัดส่งคอนกรีตที่ผสมเสร็จเรียบร้อยไปยังหน่วยงานก่อสร้าง” แต่ประเทศสหรัฐอเมริกา เยอรมัน และออสเตรีย กลับกลายเป็นผู้ริเริ่มและพัฒนาให้คอนกรีตผสมเสร็จก้าวหน้าและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมาจนถึงปัจจุบัน สำหรับพัฒนาการของคอนกรีตผสมเสร็จสามารถสรุปได้ดังนี้

ปี	เหตุการณ์
10 มกราคม พ.ศ. 2446 (ค.ศ. 1903)	• D. J.H. Magens ได้จดลิขสิทธิ์คอนกรีตผสมเสร็จครั้งแรกที่เมืองเบอร์ลิน ประเทศเยอรมัน
พ.ศ. 2446 - 2455 (ค.ศ. 1903 - 1912)	• ไม่มีความคืบหน้าในเรื่องคอนกรีตผสมเสร็จ เพราะวิธีการขนส่งพัฒนาไปไม่ทัน ทำให้ไม่สามารถนำแนวคิดไปก่อให้เกิดประโยชน์
พ.ศ. 2456 (ค.ศ. 1913)	• เกิดธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จครั้งแรกที่รัฐนิวเจอร์ซีย์ ประเทศสหรัฐอเมริกา
พ.ศ. 2467 (ค.ศ. 1924)	• เกิดธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จครั้งแรกในทวีปยุโรป ณ ประเทศเดนมาร์ก ตามด้วยประเทศนอร์เวย์
พ.ศ. 2469 (ค.ศ. 1926)	• ได้ค้นพบวิธีการขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จที่เหมาะสม โดยการใส่คอนกรีตลงในรถผสมคอนกรีต (Mobile Mixer) ซึ่งก่อนหน้านี้ได้ใช้รถม้าและรถบรรทุกขนส่งคอนกรีตและหลังจากปี พ.ศ. 2469 เป็นต้นมา รูปแบบของรถผสมคอนกรีตได้ถูกพัฒนามาโดยตลอดจนถึงปัจจุบัน
พ.ศ. 2473 (ค.ศ. 1930)	• เกิดธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จในประเทศอังกฤษ โดยบริษัทของประเทศออสเตรเลียไปตั้งโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จขนาด 30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงที่เมือง Bedford ประเทศอังกฤษ และในปัจจุบันบริษัทนี้ได้ขยายกิจการไปทั่วโลกจนกลายเป็นผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่ใหญ่ที่สุดในโลก
พ.ศ. 2446-2493 (ค.ศ. 1903-1950)	• ธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จเติบโตอย่างมาก เนื่องจากวิศวกร สถาปนิก ไม่ไว้วางใจในสินค้านี้หลังจากได้มีการพัฒนารถผสมคอนกรีตที่มีประสิทธิภาพ และโรงงานที่มีการควบคุมส่วนผสมอย่างถูกต้อง โดยมีอุปกรณ์ควบคุมการชั่งน้ำหนัก จึงทำให้อุตสาหกรรมนี้เริ่มเติบโตขึ้น
ตั้งแต่ พ.ศ. 2503 (ค.ศ. 1960)	• ธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จได้เติบโตอย่างมากในทุกภูมิภาคของโลก โดยผู้ผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ ได้เข้ามาพัฒนาในรูปแบบรถผสมคอนกรีต โรงงาน และอุปกรณ์ต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
พ.ศ. 2506 (ค.ศ. 1963)	• เกิดธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จครั้งแรกในประเทศไทย โดย บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด (คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค) เป็นผู้ริเริ่มโดยตั้งโรงงานที่มีกำลังการผลิต 50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ณ บางซื่อ กรุงเทพมหานคร หลังจากนั้น ธุรกิจนี้ได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยมีการจัดตั้งบริษัทคอนกรีตผสมเสร็จรายอื่นขึ้นอีกจำนวนมาก



รูปที่ 17-2 ลิขสิทธิ์คอนกรีตผสมเสร็จที่จดไว้ ณ เมืองเบอร์ลิน ประเทศเยอรมัน



รูปที่ 17-3 รถผสมคอนกรีตในยุคแรก ๆ



รูปที่ 17-4 โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จในยุคแรก ๆ



รูปที่ 17-5 โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จแห่งแรกของประเทศไทย



17.4 รูปแบบการเจริญเติบโต

การเจริญเติบโตของคอนกรีตผสมเสร็จนั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ระดับของการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคม, การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี, และปริมาณการลงทุนในอุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จ เป็นต้น

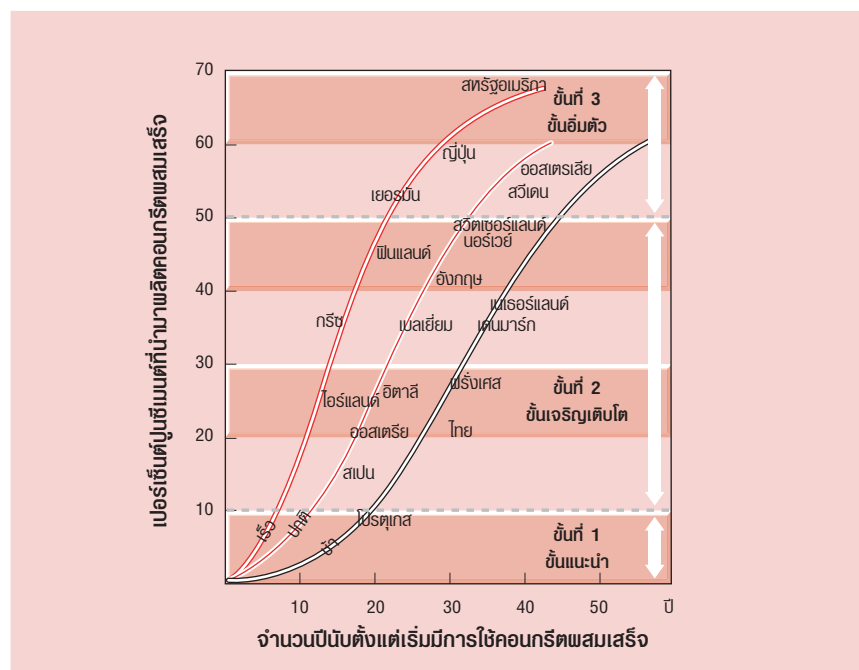
จากการสำรวจการเจริญเติบโตของคอนกรีตผสมเสร็จในส่วนต่าง ๆ ของโลก พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเหมือนกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยในแต่ละช่วงนั้นยังแบ่งออกเป็นอีก 3 ลักษณะคือ เติบโตแบบเร็ว, แบบปกติ, และแบบช้า

ช่วงที่ 1 คือ ช่วงแนะนำ (Introduction) ในช่วงนี้จะใช้เวลาประมาณ 5 - 10 ปี ก่อนที่คอนกรีตผสมเสร็จจะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 10% ของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นใช้ทั้งหมด

ช่วงที่ 2 คือ ช่วงเจริญเติบโต (Growth) ช่วงนี้คอนกรีตผสมเสร็จจะเติบโตอย่างรวดเร็ว และมียอดขายเพิ่มขึ้นมาก

ช่วงที่ 3 คือ ช่วงอิ่มตัว (Consolidation) ในช่วงนี้คอนกรีตผสมเสร็จจะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 50 - 60% ของปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นใช้ทั้งหมด คอนกรีตผสมเสร็จจะใช้เวลาเพื่อมาถึงช่วงนี้แตกต่างกันขึ้นกับรูปแบบการเจริญเติบโต

- ถ้าเติบโตอย่างรวดเร็ว ใช้เวลา 15 - 20 ปี
- ถ้าเติบโตอย่างปกติ ใช้เวลา 30 - 45 ปี
- ถ้าเติบโตอย่างช้า ๆ ใช้เวลา 40 - 60 ปี



รูปที่ 17-6 รูปแบบการเจริญเติบโตของคอนกรีตผสมเสร็จ

จากที่กล่าวมานี้เป็นที่ยากที่จะตอบคำถามว่า ทำไมคอนกรีตผสมเสร็จในประเทศหนึ่งถึงพัฒนาไปได้ช้าหรือเร็วกว่าอีกประเทศหนึ่ง แต่มีข้อเสนอแนะที่เป็นแนวทางในการที่จะพิจารณาซึ่งอยู่ในหัวข้อถัดไป

17.5 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตแบ่งเป็น 4 ประการใหญ่ ๆ ได้แก่ เทคโนโลยี, การก่อสร้าง, การผลิต, และการลงทุนและการตลาด ดังแสดงใน ตารางที่ 17-2

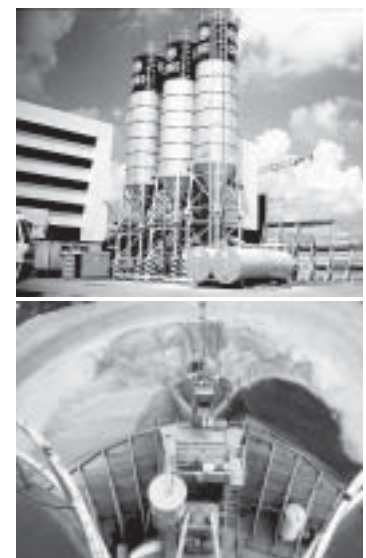
ปัจจัย	ผลต่ออุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จ
1. เทคโนโลยี - มาตรฐานคอนกรีตที่ดี - เชื่อมโยงกับคุณภาพ	เร่งการเจริญเติบโต เร่งการเจริญเติบโต
2. การก่อสร้าง - ค่าจ้างของแรงงานถูก - คนงานที่มีฝีมือหาได้ง่าย - การจัดองค์การด้านการก่อสร้างไม่ดี - มีการผสมคอนกรีตที่หน่วยงานก่อสร้าง - การวิเคราะห์ราคาอย่างละเอียด	ท่นวงการเจริญเติบโต ท่นวงการเจริญเติบโต ท่นวงการเจริญเติบโต ท่นวงการเจริญเติบโต เร่งการเจริญเติบโต
3. การผลิต - มีประสบการณ์ด้านการผลิตและการควบคุมคุณภาพ - ระบบการขนส่งมีประสิทธิภาพ - มีข้อจำกัดด้านการขนส่ง	เร่งการเจริญเติบโต เร่งการเจริญเติบโต ท่นวงการเจริญเติบโต
4. การลงทุนและการตลาด - ราคาที่มีการแข่งขัน - ลงทุนอย่างมากในด้านรถและเครื่องจักร - ลงทุนโดยผู้ผลิตปูนซีเมนต์หรือหินกราย	เร่งการเจริญเติบโต เร่งการเจริญเติบโต เร่งการเจริญเติบโต

ตารางที่ 17-2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต

17.6 กระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ

การผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่ได้มาตรฐานจะเริ่มจากการตรวจสอบคุณสมบัติของส่วนผสมต่าง ๆ อันได้แก่ หิน ทราย ที่ได้เลือกจากแหล่งที่มีคุณภาพดีมีส่วนคละถูกต้องตามมาตรฐานมาจัดกองเก็บไม่ให้ผสมกัน ส่วนปูนซีเมนต์จะถูกบรรจุไว้ในไซโลอย่างมิดชิด และน้ำยาผสมคอนกรีตจะถูกบรรจุในภาชนะเฉพาะอย่างมิดชิดเช่นกัน วัตถุดิบดังกล่าวจะถูกลำเลียงสู่กระบวนการผลิตต่อไป

กระบวนการผลิตเริ่มจาก การลำเลียงหิน ทราย ปูนซีเมนต์ ผ่านเครื่องชั่งให้ได้ น้ำหนักถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ โดยในขั้นตอนนี้จะต้องคำนึงถึงสภาพความชื้นของหินทรายด้วย เพราะหินทรายอาจจะไม่อยู่ในสภาพที่ออกแบบหรือสภาพอิมพัลล์แห้ง (SSD) ซึ่งจะต้องปรับน้ำหนักหินทรายและน้ำให้ถูกต้อง ส่วนน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีตจะผ่านเครื่องวัดปริมาตร แล้วนำเข้าผสมกันในเครื่องผสมคอนกรีต ซึ่งจะผสมคอนกรีตตามเวลาที่กำหนดด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติที่ให้ความเที่ยงตรง สม่าเสมอ และรวดเร็ว คอนกรีตที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้วจะถูกลำเลียงลงสู่รถผสมคอนกรีตเพื่อนำไปส่งยังหน่วยงานก่อสร้าง



รูปที่ 17-7 การกองเก็บวัตถุดิบ ณ โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ



ก) เครื่องชั่ง ปูนซีเมนต์ หิน และทราย



ข) เครื่องตวงน้ำยาผสมคอนกรีต

รูปที่ 17-8 ระบบชั่งตวงในโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ

กระบวนการผลิตนี้ สามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังนี้



รูปที่ 17-9 กระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ

17.7 โรงงานและรถผสมคอนกรีต

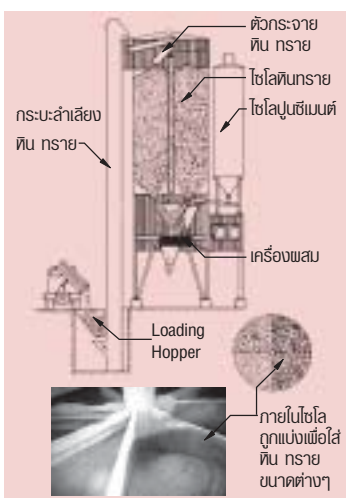
รูปแบบโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จทั่ว ๆ ไป สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

1. โรงงานแนวตั้ง (Vertical Production Plant)

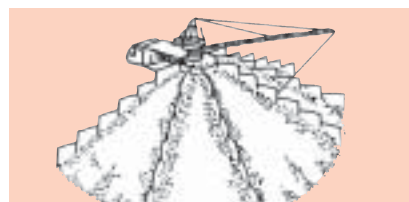
วัตถุดิบถูกบรรจุไว้ในไซโล เมื่อต้องการใช้งาน วัตถุดิบเหล่านี้จะถูกปล่อยลงสู่กระบอกซึ่งนำหนักด้วยน้ำหนักของตัวเอง จากนั้นจะถูกลำเลียงสู่เครื่องผสมหรือรถผสมคอนกรีต

2. โรงงานแนวนอน (Horizontal Production Plant)

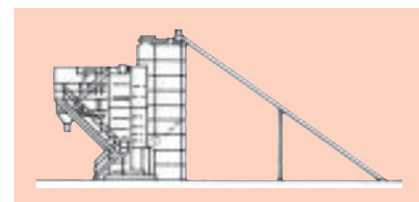
โรงงานลักษณะนี้วัตถุดิบจะถูกเก็บ ลำเลียงมาซึ่งน้ำหนัก และผสมโดยใช้สายพานหรือสกรู



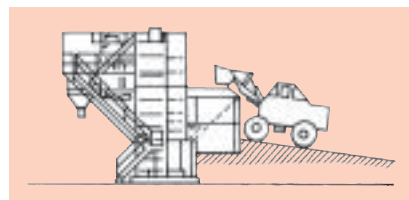
รูปที่ 17-10 โรงงานแนวตั้ง



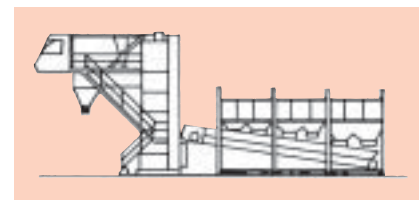
ก) หินทรายอยู่ในลักษณะ Star-Pattern



ข) หินทรายถูกลำเลียงเก็บไว้ในไซโล



ค) หินทรายถูกลำเลียงเก็บไว้ใน Pocket ไซโล



ง) หินทรายถูกลำเลียงเก็บไว้ใน Inline ไซโล

รูปที่ 17-11 โรงงานแนวนอน

รถผสมคอนกรีตโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ประเภท คือ

1. รถกวนคอนกรีต (Truck Agitator) ใช้สำหรับบรรทุกคอนกรีตที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้วจากโรงงานไปยังหน่วยงานก่อสร้าง ซึ่งไม่เหมาะระหว่างการเดินทางด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว
 2. รถผสมคอนกรีต (Truck Mixer) ใช้งานเช่นเดียวกับรถกวนคอนกรีต แต่รถประเภทนี้ภายในจะมีใบผสมซึ่งสามารถใช้ผสมคอนกรีตได้
- ขนาดของรถผสมคอนกรีตที่ใช้ทั่วไปในประเทศไทย จะมีความจุ 3 - 5 ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 17-12 รถผสมคอนกรีตมีความจุตั้งแต่ 3 - 5 ลูกบาศก์เมตร

17.8 กระบวนการควบคุมคุณภาพ

เพื่อให้ได้คอนกรีตผสมเสร็จที่ได้มาตรฐานมีคุณภาพสม่ำเสมอเหมาะกับการใช้งาน จำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

1. การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ

ปูนซีเมนต์ : ทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

หิน-ทราย : ทำการทดสอบความแข็งแรง, ความอยู่ตัว, ความสะอาด, รูปร่าง, และขนาดผล

น้ำ : ทดสอบคุณสมบัติทางเคมี, คุณสมบัติที่มีผลต่อการแข็งตัว, และกำลังอัดของคอนกรีต

น้ำยาผสมคอนกรีต : ทดสอบความสม่ำเสมอ โดยพิจารณาค่าความถ่วงจำเพาะ

2. การควบคุมคุณภาพคอนกรีตสด

เมื่อรถผสมคอนกรีตถึงหน่วยงานก่อสร้าง จะต้องสุ่มทำการทดสอบความสามารถให้ได้ โดยทดสอบค่ายุบตัว เพื่อพิจารณาว่าคอนกรีตมีความเหลวได้ตามข้อกำหนดหรือไม่ ค่ายุบตัวที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างในประเทศไทยมีดังนี้

ประเภทของงานคอนกรีต	ค่ายุบตัว (เซนติเมตร)
งานพื้นสนามบิน	5.0 ± 2.5
งานคอนกรีตทั่วไป	
• พื้น และถนน	7.5 ± 2.5
• เสา คาน ผนัง และกำแพง	10.0 ± 2.5
งานฐานรากทั่วไป	
งานคอนกรีตบดทั่วไป	10.0 ± 2.5
งานเสาเข็มเจาะขนาดเล็กหรือระบบแห้ง	
งานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่หรือระบบเปียก	
งานเทคอนกรีตใต้น้ำ	
งานฐานรากแผ่ขนาดใหญ่	มากกว่า 15.0
งานที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	

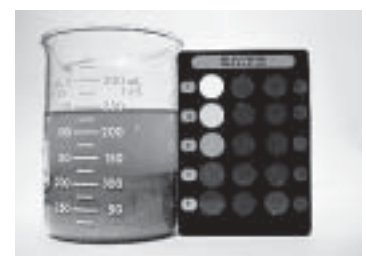
ตารางที่ 17-3 ค่ายุบตัวที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างในประเทศไทย



ก) การทดสอบขนาดผล



ข) การทดสอบการตัดสี่



ค) การทดสอบความสะอาดของทราย

รูปที่ 17-13 การทดสอบหิน-ทราย



ก) การลู่ทำก้อนตัวอย่าง



ข) การทดสอบกำลังอัด

รูปที่ 17-14 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

3. การควบคุมคุณภาพคอนกรีตเชิงตัวแล้ว

ความแข็งแรงและความคงทนเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับคอนกรีตเชิงตัวแล้ว แต่การวัดความคงทนของคอนกรีตทำได้ยาก ดังนั้นการควบคุมคุณภาพจึงทำเฉพาะการทดสอบความแข็งแรงโดยการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ทำโดยการนำก้อนตัวอย่างคอนกรีต ซึ่งอาจเป็นรูปทรงลูกบาศก์หรือรูปทรงกระบอกที่ได้จากการลู่เก็บ ณ หน่วยงานก่อสร้าง นำมาบ่มและทดสอบ เมื่ออายุครบตามที่กำหนด โดยทั่วไปที่อายุคอนกรีต 7 วัน และ 28 วัน เมื่อได้ค่ากำลังอัดคอนกรีตแล้ว จะนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่า Moving Average รวมทั้งนำผลมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Cusum

กำลังอัดที่ใช้ในการออกแบบคอนกรีตผสมเสร็จ โดยทั่วไปในประเทศไทยมีดังนี้

กำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	
รูปทรงลูกบาศก์ 15 เซนติเมตร	รูปทรงกระบอก Ø 15 x 30 เซนติเมตร
180	140
210	180
240	210
280	240
320	280
350	300
380	320
400	350

ตารางที่ 17-4 ค่ากำลังอัดที่ใช้ในการออกแบบ

17.9 คุณลักษณะเด่นของคอนกรีตผสมเสร็จ

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมีคุณภาพตรงตามมาตรฐานงานก่อสร้างทั่วไป
2. มีการควบคุมสัดส่วนผสมของคอนกรีตด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก ทำให้ได้ส่วนผสมคอนกรีตที่ถูกต้อง แน่นหนา และสม่ำเสมอ
3. โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จได้รับการพัฒนาจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี อยู่เสมอ และสามารถผลิตคอนกรีตได้ตั้งแต่ 30 - 150 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถช่วยให้งานเทคอนกรีตดำเนินไปได้อย่างรวดเร็ว และลดจำนวนคนงานที่ใช้ในการผสมคอนกรีตและเทคอนกรีตลงอย่างมาก
4. แก้ปัญหาทางานก่อสร้างที่มีบริเวณก่อสร้างจำกัด ไม่สามารถที่จะกองเก็บหิน ทราย หรือในงานก่อสร้างที่จะต้องเปลี่ยนสถานที่ที่เทคอนกรีตตลอดเวลา เช่น งานถนน งานคลองส่งน้ำ เป็นต้น
5. แก้ปัญหาทางานก่อสร้างที่ต้องการใช้คอนกรีตปริมาณครั้งละไม่มากนัก หรืองานที่ต้องการใช้คอนกรีตเป็นระยะเวลายาวๆ กัน ซึ่งไม่คุ้มกับการลงทุนซื้อวัสดุผสมมาเก็บไว้ใช้งานเอง



รูปที่ 17-15 คอนกรีตผสมเสร็จ มีการกองเก็บหิน ทราย และปูนซีเมนต์ไว้ที่โรงงาน จึงช่วยแก้ปัญหาทางานก่อสร้างที่มีบริเวณก่อสร้างจำกัดได้

6. ในงานก่อสร้างที่อัตราการเทคอนกรีตค่อนข้างช้า สามารถแก้ไขได้โดยการเติมน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีคุณลักษณะยืดระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต
7. โดยปกติคอนกรีตผสมเสร็จจะมีราคาแพงกว่าคอนกรีตผสมเองอยู่บ้างเล็กน้อย แต่ก็สามารถทดแทนด้วยคุณภาพของคอนกรีตที่ดีและสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังช่วยให้ทำงานได้โดยสะดวก และที่สำคัญมากคือ ประหยัดเวลาในการก่อสร้าง
8. เป็นหน้าที่ของผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่ต้องรับรองคุณภาพคอนกรีตผสมเสร็จที่จัดส่งให้กับหน่วยงานก่อสร้างภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด เช่น กำลังอัดประลัย, และการยุบตัว เป็นต้น

17.10 ข้อแนะนำในการใช้คอนกรีตผสมเสร็จ

1. เพื่อให้รถผสมคอนกรีตเข้าถึงหน่วยงานได้อย่างสะดวก ถนนเข้าหน่วยงานก่อสร้างต้องกว้างไม่น้อยกว่า 3 เมตร สายไฟ สายโทรศัพท์ หรือสิ่งกีดขวางอื่นๆ ควรอยู่สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 4 เมตร
2. หากรถผสมคอนกรีตเข้าถึงบริเวณที่จะเทไม่ได้ ควรจัดกระเบาะขนาดความจุอย่างน้อย 0.5 - 1.0 ลูกบาศก์เมตร ไว้รองรับคอนกรีต
3. เพื่อให้การเทคอนกรีตทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่อง หน่วยงานควรสั่งคอนกรีตในปริมาณที่เหมาะสมกับวิธีการทำงาน ดังค่าแสดงใน ตารางที่ 17-5
4. เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพ ควรใช้คอนกรีตให้หมดภายใน 1 ชั่วโมงหลังจากรถผสมคอนกรีตถึงหน่วยงาน
5. เพื่อความสะดวกในการจัดส่งคอนกรีต ควรเขียนแผนที่แสดงตำแหน่งหน่วยงานก่อสร้างอย่างละเอียด ส่งให้โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จก่อนเริ่มการใช้งาน

วิธีการเทคอนกรีต	อัตราการเทคอนกรีต (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)
ใช้สฟัด	10
ใช้ครน	15
ใช้ปั๊ม	40

ตารางที่ 17-5 วิธีและอัตราการเทที่เหมาะสม

17.11 การเปรียบเทียบคอนกรีตผสมเสร็จกับคอนกรีตผสมไม่เล็ก

เรื่อง	คอนกรีตผสมเสร็จ	คอนกรีตผสมไม่เล็ก
1. สถานที่ตั้งโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จและการกองเก็บวัสดุ	- โดยทั่วไปโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จจะอยู่นอกสถานที่ก่อสร้าง หน่วยงานที่มีสถานที่ในการก่อสร้างจำกัดจะทำงานได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น - ในกรณีที่ตั้งโรงงานผสมคอนกรีตภายในบริเวณสถานที่ก่อสร้าง จะจัดสถานที่กองเก็บวัสดุอย่างเป็นสัดส่วน ไม่มีผลกระทบต่อการก่อสร้าง	- ต้องจัดตั้งเครื่องผสมและกองเก็บวัสดุภายในสถานที่ก่อสร้าง ในกรณีที่สถานที่ก่อสร้างจำกัดจะทำให้การทำงานไม่สะดวก - ต้องเตรียมเครื่องผสมคอนกรีตและกองเก็บวัสดุเป็นจุดๆ ภายในสถานที่ก่อสร้าง ทำให้ไม่สะดวกในการทำงาน อีกทั้งยังมีวัสดุเหลือใช้เมื่อเสร็จงาน
2. วัสดุที่ใช้ (หิน กรวด ปูนซีเมนต์ และน้ำยาผสมคอนกรีต)	- ผู้ผลิตเป็นผู้จัดหาวัสดุ ปูนซีเมนต์ หิน กรวด ให้กับผู้ใช้ - ผู้ผลิตซื้อหิน กรวด จากแหล่งผลิตโดยตรง ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพให้ตรงมาตรฐานและมีคุณภาพสม่ำเสมอ - การกองเก็บหิน กรวด มีการแบ่งออกเป็นช่องๆ ทำให้หิน กรวด ไม่ปะปนกัน หินกรวดมีส่วนคละตามมาตรฐานทำให้คอนกรีตที่มีความแข็งแรงมากกว่า	- จะต้องจัดหาวัสดุ ปูนซีเมนต์ หิน กรวด เอง - ซื้อหิน กรวด ตามที่จะหาได้ ทำให้ไม่สามารถควบคุมคุณภาพหิน กรวด ให้ตรงตามมาตรฐานและมีคุณภาพสม่ำเสมอได้ - การกองเก็บหิน กรวด เป็นแบบชั่วคราวตามสภาพสถานที่ก่อสร้างง่าย ๆ บางครั้งจะปนกัน และสกปรกได้ง่าย ทำให้หิน กรวด บางส่วนต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์

ตารางที่ 17-6 การเปรียบเทียบคอนกรีตผสมเสร็จกับคอนกรีตผสมไม่เล็ก



เรื่อง	คอนกรีตผสมเสร็จ	คอนกรีตผสมไม่เสร็จ
	- มีปริมาณหิน, กราย มากพอที่จะใช้ในการผลิตคอนกรีตจำนวนมาก - ปูนซีเมนต์ที่ใช้เก็บไว้ในไซโลเหล็ก ความชื้นเข้าได้ยาก ทำให้ปูนซีเมนต์ไม่แข็งจับกันเป็นก้อน	- มีปริมาณหิน, กราย น้อยไม่พอที่จะใช้ในการผลิตคอนกรีตจำนวนมาก - ปูนซีเมนต์บรรจุไว้เป็นถุงเก็บซ้อนๆ กันไว้ในโรงเก็บหรือถังไว้กลางแจ้งและใช้เข้าใบคลุม ทำให้ความชื้นเข้าได้ง่ายทำให้ปูนซีเมนต์แข็งจับตัวเป็นก้อนได้ง่ายกว่า
3. การผสมคอนกรีต	- ใช้วิธีผสมโดยการชั่งวัสดุ ทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ นอกจากนั้นยังมีการตรวจสอบความชื้นของหิน กราย เพื่อปรับปริมาณน้ำ หิน และกราย ทำให้ได้คอนกรีตที่ได้มีส่วนผสมที่ถูกต้อง - จะผสมครั้งละ 1.0 - 2.0 ลูกบาศก์เมตร ทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ	- ใช้วิธีผสมโดยการตวงปริมาตรของวัสดุผสม ซึ่งผิดพลาดได้ง่าย และไม่มีการตรวจสอบความชื้นของหิน กราย ทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพไม่แน่นอน - ผสมได้ครั้งละเพียง 0.15 - 0.25 ลูกบาศก์เมตรต่อไม่ หรือน้อยกว่า ทำให้ได้คุณภาพคอนกรีตไม่แน่นอน
4. การเทคอนกรีต	สามารถที่จะผลิตและจัดส่งคอนกรีตได้ในอัตราสูงและต่อเนื่องตามความต้องการ ทำให้งานเทคอนกรีตดำเนินไปได้อย่างรวดเร็ว	ไม่สะดวกในการทำงาน เนื่องจากต้องใช้เครื่องผสมหลายเครื่อง ต้องเตรียมวัสดุผสม และแรงงานในการผสมคอนกรีตปริมาณมาก อีกทั้งต้องใช้เวลาในการเทคอนกรีตนานมากด้วย
5. การควบคุมคุณภาพ	- มีการควบคุมคุณภาพเป็นระบบ ตั้งแต่วัตถุดิบ, การผสม, การขนส่ง และอื่นๆ - มีการจัดเก็บตัวอย่างคอนกรีต เพื่อทดสอบ และรับรองกำลังอัดของคอนกรีตให้ - มีการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับคอนกรีต เพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพ และปรับปรุงส่วนผสมคอนกรีต	- ไม่เป็นระบบหรืออาจจะไม่มีการควบคุม - ส่วนใหญ่ไม่มีอุปกรณ์และเครื่องมือ - ไม่มี

ตารางที่ 17-6 (ต่อ) การเปรียบเทียบคอนกรีตผสมเสร็จกับคอนกรีตผสมไม่เสร็จ

17.12 มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จ



รูปที่ 17-16 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ หรือ มอก. 213

เนื่องด้วยในปัจจุบัน มีการใช้คอนกรีตผสมเสร็จในการก่อสร้างโดยทั่วไป ทั้งนี้ เพราะคอนกรีตผสมเสร็จที่มีคุณภาพจะมีส่วนผสมและใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพแน่นอน ทั้งยังสะดวกรวดเร็วอย่างมากด้วย ทางสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจึงได้จัดตั้งคณะกรรมการวิชาการอันประกอบด้วยผู้ทรงคุณวุฒิจากหน่วยงานของภาครัฐบาลและภาคเอกชน เพื่อพิจารณา มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ หรือ มอก. 213 และได้ประกาศเป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 ซึ่งพอสรุปสาระที่สำคัญจากมาตรฐานได้ดังนี้

● ขอบเขต

มอก. 213 นี้ กำหนดประเภทและชั้นคุณภาพ, วัสดุ, การทำ, คุณสมบัติที่ต้องการ, การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน, และการทดสอบคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งผสมมาจากโรงงานหรือโดยรถผสมคอนกรีต และส่งจนถึงสถานที่ก่อสร้าง โดยไม่ครอบคลุมการเทและการบ่มคอนกรีต

● บทนิยาม

คอนกรีต หมายถึง คอนกรีตผสมเสร็จที่จ่ายไปยังที่หล่อในสภาพเหลว และพร้อมที่จะใช้งานได้ทันที

มวลรวม หมายถึง วัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ เช่น หินย่อย กรวด หรือทราย

สารผสมเพิ่ม หมายถึง วัสดุที่นอกเหนือไปจากมวลรวม ปูนซีเมนต์ หรือน้ำ ซึ่งเติมลงไปในขณะที่ผสมคอนกรีต เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตประการใด ประการหนึ่งหรือหลายประการ

รถผสม (Truck Mixer) หมายถึง รถซึ่งสามารถขนส่งและผสมคอนกรีตได้

รถกวน (Truck Agitator) หมายถึง รถซึ่งสามารถขนส่งและกวนคอนกรีตที่ผสมเรียบร้อยแล้ว

● ชั้นคุณภาพ

ตาม มอก. 213 กำหนดชั้นคุณภาพคอนกรีตและกำลังอัดไว้ดัง ตารางที่ 17-7

ชั้นคุณภาพ	กำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ไม่น้อยกว่า (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	
	รูปทรงลูกบาศก์ 15 เซนติเมตร	รูปทรงกระบอก Ø 15 x 30 เซนติเมตร
C 10/8	100	80
C 12.5/10	125	100
C 15/12	150	120
C 20/15	200	150
C 25/20	250	200
C 30/25	300	250
C 35/30	350	300
C 40/35	400	350
C 45/40	450	400

ตารางที่ 17-7 ชั้นคุณภาพและกำลังอัดของคอนกรีต

● การผลิต

1. การเก็บรักษาวัตถุดิบ

ปูนซีเมนต์ : ต้องเก็บรักษาในที่เก็บให้มิดชิด ที่สามารถป้องกันความชื้นได้ และต้องไม่ใช้ปูนซีเมนต์ต่างชนิดปนกัน

มวลรวม : ต้องกองโดยป้องกันไม่ให้เปราะแข็ง และต้องไม่ให้มวลรวมต่างชนิดปนกัน

น้ำ : ต้องบรรจุในภาชนะที่ป้องกันการสูญเสีย และสิ่งแปลกปลอมมาเจือปนได้



2. การหาปริมาณส่วนผสม

วัตถุดิบต่าง ๆ จะถูกชั่งตวงให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดดัง *ตารางที่ 17-8*

วัสดุผสมคอนกรีต	ปริมาณ	ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้
ปูนซีเมนต์	น้อยกว่า 200 กก. มากกว่าหรือเท่ากับ 200 กก.	$\pm 2\%$ $\pm 1\%$
มวลรวม	น้อยกว่า 500 กก. มากกว่าหรือเท่ากับ 500 กก.	$\pm 3\%$ $\pm 2\%$
น้ำ	-	$\pm 3\%$
สารผสมเพิ่ม		
สารเคมีผสมเพิ่ม	-	$\pm 3\%$
แร่ผสมเพิ่ม	-	$\pm 3\%$

ตารางที่ 17-8 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

● เกณฑ์ตัดสิน

คอนกรีตสดถือว่าผ่านมาตรฐานจะต้องมีคุณสมบัติดัง *ตารางที่ 17-9*

คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะต้องได้กำลังอัดอยู่ในเกณฑ์กำหนด โดยเงื่อนไขการยอมรับให้ตัดสินจากก้อนตัวอย่างทดสอบ 10 ตัวอย่าง ดังนี้

1. ถ้าตัวอย่างทดสอบทั้งหมดเป็นไปตาม *ตารางที่ 17-7* ให้ถือว่าคอนกรีตนั้นเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด
2. ถ้าตัวอย่างทดสอบ 1 ตัวอย่าง ไม่เป็นไปตาม *ตารางที่ 17-7* แต่สูงกว่า 85% และตัวอย่างทั้งหมดมีค่าการต้านแรงอัดเฉลี่ยถึง 1.1 เท่า ของการต้านแรงอัดที่กำหนด ให้ถือว่าคอนกรีตนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
3. ถ้าตัวอย่างทดสอบ 1 ตัวอย่าง ไม่เป็นไปตาม *ตารางที่ 17-7* แต่ต่ำกว่า 85% หรือตัวอย่างทดสอบ 1 ตัวอย่าง ไม่เป็นไปตาม *ตารางที่ 17-7* แต่สูงกว่า 85% และตัวอย่างทดสอบทั้งหมดมีค่าการต้านทานแรงอัดเฉลี่ยไม่ถึง 1.1 เท่า ของการต้านแรงอัดที่กำหนด หรือมีตัวอย่างทดสอบไม่เป็นไปตาม *ตารางที่ 17-7* ตั้งแต่ 2 ตัวอย่างขึ้นไป ให้ถือว่าคอนกรีตนั้นไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนด

● การใช้งาน

ขั้นแรกของการใช้งาน คือ ข้อกำหนด (Specification) จะต้องกำหนดให้ใช้คอนกรีตผสมเสร็จตามมาตรฐาน มอก. 213 ในชั้นคุณภาพต่าง ๆ ตามที่ผู้ออกแบบต้องการ ดังนั้นผู้รับเหมาหรือเจ้าของโครงการ จะเลือกผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่ได้รับมาตรฐาน มอก. 213 ในชั้นคุณภาพนั้น ๆ เพื่อให้จัดส่งคอนกรีตสำหรับหน่วยงานก่อสร้างนั้นต่อไป โดยผู้ผลิตจะต้องทำการควบคุมคุณภาพทั้งคอนกรีตสดและคอนกรีตแข็งตัวแล้วตามมาตรฐาน

การทดสอบ	2 ตัวอย่างมีค่าต่างกันไม่เกิน
ค่ายุบตัว (Slump)	
ไม่เกิน 7.5 เซนติเมตร	2.5 เซนติเมตร
เกิน 7.5 เซนติเมตร	4.0 เซนติเมตร
ปริมาณอากาศในคอนกรีต (Air Content)	1.0%
ปริมาณมวลรวมหยาบในคอนกรีต (Coarse Aggregate Content)	6.0%
หน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์ที่ปราศจากอากาศ (Unit Weight of Air-Free Mortar)	1.6%

ตารางที่ 17-9 เกณฑ์ตัดสินคอนกรีตสด



รูปที่ 17-17 คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค เป็นผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จรายแรกที่ได้รับมาตรฐาน มอก. 213

มาตรฐานอ้างอิง

- มอก. 213-2520 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ
- E.I.T.Standard 1014-46 : ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต, คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- ASTM C 94 : 2004 : Standard Specification for Ready-Mixed Concrete

เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology), คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 เอกสารวิชาการของคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด, 2545.



SCG

ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน