คอนกรีตเทคโนโลยี

อภินันทนาการ
บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด
(ห้ามจำหน่าย)

คอนกรีต ทีพีไอ

คำนำ

ปัจจุบันนี้งานก่อสร้างทั่วไปในประเทศไทยได้ใช้คอนกรีตเป็นวัสดุหลักสำหรับโครงสร้างต่างๆ ดังนั้นจึงจำเป็นที่ผู้เกี่ยวข้องควรเข้าใจในวัสดุคอนกรีตทั้งคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วตลอดจนปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีต

การก่อสร้างในปัจจุบันที่เทคโนโลยีมีความเจริญก้าวหน้ามากมีเครื่องมือและอุปกรณ์ช่วยประหยัดเวลาเพื่อเก็บประมวลข้อมูลแต่ในทางปฏิบัติจริงอาจไม่สะดวกในการพกพาเครื่องใช้และอุปกรณ์ติดตัวไปตามสถานที่ก่อสร้างหรือหน่วยงานบางแห่ง

บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด จึงได้จัดคณะทำงานประกอบด้วยทีมวิศวกรจากฝ่ายควบคุมคุณภาพและจากฝ่ายขายและการตลาด จัดทำเอกสาร **“ คอนกรีตเทคโนโลยี “** ชุดนี้ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเอกสารอ้างอิงและทบทวน สำหรับวิศวกร ผู้รับเหมา ผู้ควบคุมงาน นักศึกษาและประชาชนทั่วไป เพื่อประกอบความเข้าใจในคอนกรีตที่มีคุณภาพตั้งแต่กระบวนการผลิตการใช้งานจนกระทั่งเป็นคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วอันจะนำไปสู่การใช้คอนกรีตสำหรับโครงสร้างต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

(ประหยัด เลี่ยวไพรัตน์)
กรรมการผู้จัดการใหญ่
บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด
มกราคม 2551

สารบัญ

คอนกรีต	**หน้า**
องค์ประกอบของคอนกรีต	4
คุณภาพของคอนกรีต	7
ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของคอนกรีต	9
ปูนซีเมนต์	
ประเภทของปูนซีเมนต์	10
ปูนซีเมนต์ทีพีไอ	11
ปูนซีเมนต์ทำงานได้อย่างไร	14
สารประกอบหลักในปูนซีเมนต์	15
มวลรวม	
คุณสมบัติของมวลรวมในงานคอนกรีต	17
มาตรฐาน ASTM C 33 ของมวลรวม	25
น้ำ	
หน้าที่ของน้ำในงานคอนกรีต	27
การตัดสินใจเลือกใช้น้ำ	28
ข้อกำหนดของน้ำผสมคอนกรีต	28
การทดสอบคุณสมบัติ	28
สารผสมคอนกรีต	
ประเภทของสารผสมคอนกรีต	29
สารผสมคอนกรีตที่ใช้ในงานคอนกรีตผสมเสร็จ	30
การผสมคอนกรีต	
วิธีการผสมคอนกรีต	38
เวลาในการผสมคอนกรีต	39
ลำดับการผสม	40
การลำเลียงคอนกรีต	41
การเทคอนกรีตและการทำให้แน่น	42
การบ่มคอนกรีต	45

คอนกรีตสด หน้า

คุณสมบัติของคอนกรีตสด 49

เวลาการก่อตัว 50

คุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ดี 51

คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

กำลังอัดของคอนกรีต 51

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีต 52

คุณสมบัติด้านกำลังอื่นๆ ของคอนกรีต 55

การเปลี่ยนรูป 56

ความทนทานของคอนกรีต 57

การแตกร้าวของคอนกรีต 57

การควบคุมคุณภาพ

การควบคุมคุณภาพคอนกรีต 63

ค่ายอมรับสำหรับคุณภาพคอนกรีต 64

การปฏิบัติเมื่อคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน 64

ขบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ 65

คู่มือการคำนวณ และตารางต่าง ๆ สำหรับงานก่อสร้าง

ตารางเปรียบเทียบมาตราชั่ง , ตวง , วัด 66

น้ำหนัก , หน่วยวัด 67

ตารางเปลี่ยนระบบเมตริก 68

การเปลี่ยนหน่วย 69

ปริมาตรและเนื้อที่พื้น 70

พื้นที่และเส้นรอบรูป 72

ตารางขนาดเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง 74

วัสดุงานปูนใน 1 ม^3 76

น้ำหนักของพื้นชนิดต่างๆ และวัสดุทั่วไป 77

การคิดปริมาตรไม้ 79

ตารางแสดงการเลือกใช้ประเภทของคอนกรีต 80

ผลิตภัณฑ์คอนกรีต ทีพีไอ 81

คอนกรีต

(CONCRETE)

จากอดีตจนถึงปัจจุบันนี้เราพบว่า “ คอนกรีต ” ยังคงเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความนิยมใช้งาน ทั้งนี้เพราะคอนกรีตมีความเหมาะสมกว่าวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ทั้งด้านราคาและด้านคุณสมบัติต่างๆ และอาจแยกพิจารณาคอนกรีตออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เป็นตัวประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต
2. ส่วนที่เป็นมวลรวม ได้แก่ ทราย หิน หรือ กรวด

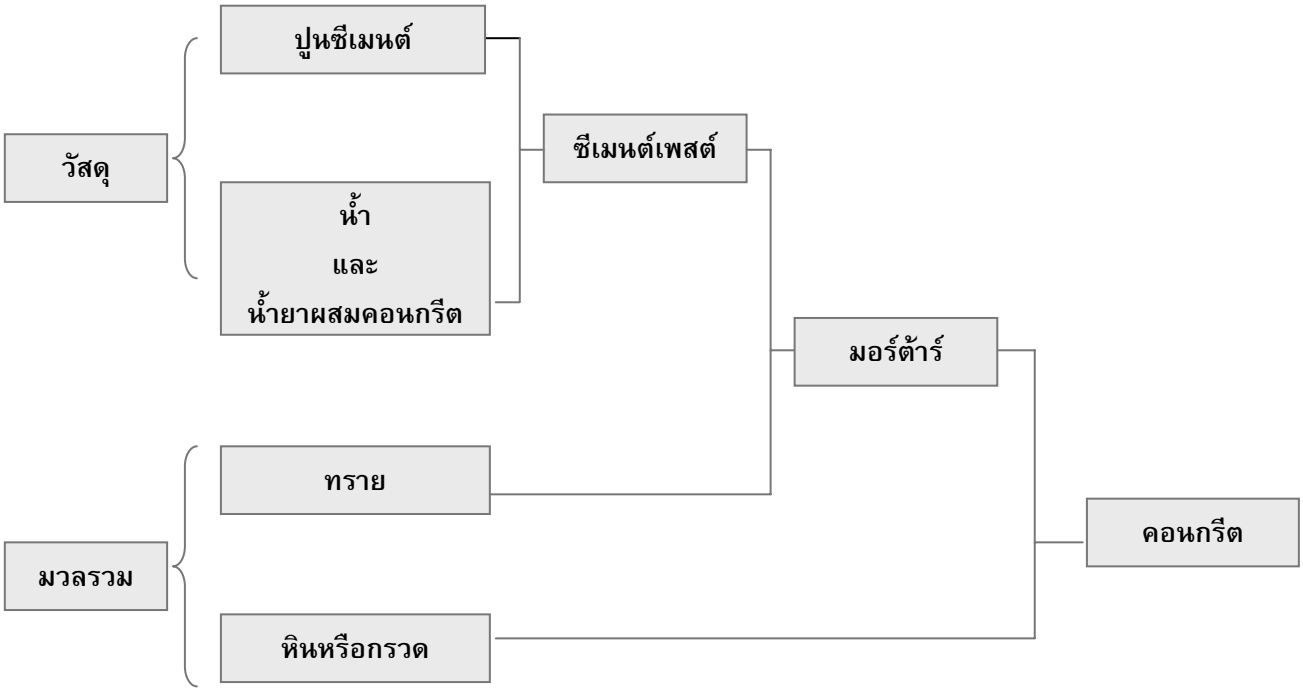
เมื่อนำวัสดุต่างๆ ของคอนกรีตมาผสมกัน คอนกรีตจะเป็นของเหลวมีความหนืดเวลาหนึ่งซึ่งสามารถนำไปเทลงแบบหล่อตามต้องการได้ เมื่ออายุมากขึ้นคอนกรีตก็จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวมาเป็นกึ่งเหลวกึ่งแข็ง และในเวลาต่อมาก็จะเป็นของแข็งในที่สุดซึ่งสามารถรับกำลังอัดได้มากขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงเวลาหนึ่งความสามารถรับกำลังอัดก็จะเริ่มคงที่

การเรียกชื่อองค์ประกอบของคอนกรีต

โดยทั่วๆ ไปวัสดุสำหรับใช้ผสมทำคอนกรีตประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีตเมื่อผสมวัสดุต่างๆเข้าด้วยกันเราจะเรียกชื่อของวัสดุต่างๆ ที่ผสมกันดังนี้

ปูนซีเมนต์ผสมน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต	**เรียกว่า**	ซีเมนต์เพสต์	(Cement Paste)
ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทราย	**เรียกว่า**	มอร์ต้าร์	(Mortar)
มอร์ต้าร์ผสมกับหินหรือกรวด	**เรียกว่า**	คอนกรีต	(Concrete)

ดังแสดงตาม Diagram ข้างล่างนี้



หน้าที่และคุณสมบัติของส่วนผสม

1. ปูนซีเมนต์

จะทำหน้าที่ให้กำลังของคอนกรีต โดยทำปฏิกิริยาไฮ-เดรชั่นกับน้ำเกิดเป็นของเหลวหนืด จะทำหน้าที่หล่อลื่นคอนกรีตให้สามารถเทได้และยึดประสานมวลรวมเข้าด้วยกันเมื่อแข็งตัวจะให้กำลังกับคอนกรีต คุณสมบัติของปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารเคมีและความละเอียดของเม็ดปูน

2. มวลรวม

จะทำหน้าที่เป็นวัสดุเฉื่อยกระจายอยู่ทั่วเนื้อคอนกรีต ช่วยให้คอนกรีตมีความทนทาน และยังลดการยืดหดตัวของคอนกรีตอีกด้วยคุณสมบัติของมวลรวมควรพิจารณา เช่น ความแข็งแรง ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี การต้านทานแรงกระแทกและการเสียดสี มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อย เป็นต้น

3. น้ำ

จะทำหน้าที่ผสมกับปูนซีเมนต์ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดร-ชั่นและยังช่วยหล่อลื่นให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทลงในแบบหล่อได้

4. น้ำยาผสมคอนกรีต

จะทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน อาทิเช่น เวลาการก่อตัว ความสามารถในการเทได้ กำลังอัด เป็นต้น

คุณภาพของคอนกรีต

คอนกรีตที่มีคุณภาพมีลักษณะอย่างไร

คอนกรีตที่มีคุณภาพ คือ คอนกรีตที่มีคุณสมบัติต่างๆ เหมาะสมตรงตามลักษณะของการใช้งานในประเภทนั้นๆ

คุณสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการโดยทั่วๆ ไป คือ ในสภาพเหลวต้องมีความสามารถเทได้ (WORKABILITY) , ไม่มีการแยกตัว (SEGREGATION) , ใช้พลังงานในการทำงานน้อย ในสภาพที่แข็งตัวแล้วจะต้องมีกำลัง (STRENGTH) สูงพอ , ทึบน้ำ (IMPERMEABILITY) , หดตัวน้อย ปราศจากรอยแตกร้าวภายในไม่มีโพรงหรือช่องว่างจากการเท

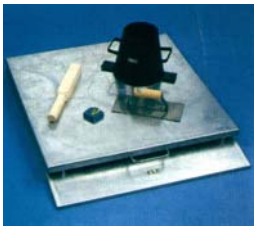
<u>คุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีต</u>

1. **คอนกรีตสด**

ความสามารถเทได้	(WORKABILITY)
การยึดเกาะ	(COHESION)
ความข้นเหลว	(CONSISTENCY)
การแยกตัว	(SEGREGATION)
การเยิ้ม	(BLEEDING)

2. **คอนกรีตแข็งตัวแล้ว**

กำลังอัด	(COMPRESSIVE STRENGTH)
ความหนาแน่น	(DENSITY)
ความทึบน้ำ	(IMPERMEABILITY)
ความคงทน	(DURABILITY)
ต้านทานการขัดสี	(RESISTANCE TO ABRASION)



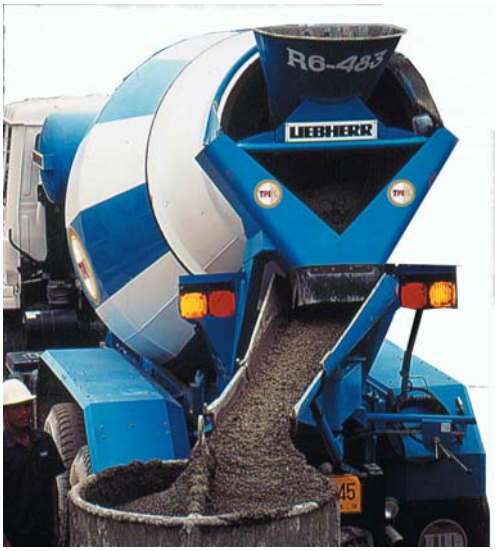
อุปกรณ์ในการทดสอบความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด

นอกจากคุณสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว ก็ยังอาจต้องการคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากนี้ไปตามลักษณะของการนำไปใช้งาน

เช่น
- ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (HEAT OF HYDRATION)
- ระยะเวลาการก่อตัว (SETTING TIME)
- การยืดหดตัว (SHRINKAGE)
- การต้านทานซัลเฟต (SULFATE RESISTANCE)

ฯลฯ

ถึงแม้ว่าคอนกรีตมีคุณสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการแล้ว ก็ยังต้องคำนึงถึงด้านราคาของคอนกรีตให้มีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์อีกด้วย



ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของคอนกรีต

1. วัตถุดิบ

ปูนซีเมนต์
น้ำ
น้ำยาผสมเพิ่ม
หิน – ทราย
สารผสมเพิ่ม

2. การควบคุมการทำคอนกรีต

การชั่งส่วนผสม
การผสม
การลำเลียง
การเท
การแต่งผิว
การบ่ม
ฯลฯ

ปูนซีเมนต์ (CEMENT)

1.ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผลิตตาม มอก.15 แบ่งเป็น 5 ประเภท

ประเภทที่ 1 Ordinary Portland Cement ใช้สำหรับงานก่อสร้างทั่วไป
ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตรา TPI สีแดง , ตราช้าง , ตราอินทรีย์เพชร

ประเภทที่ 2 Modified Portland Cement ใช้สำหรับงานคอนกรีตที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง ปัจจุบันไม่มีการผลิตในประเทศไทย

ประเภทที่ 3 High Early Strength Portland Cement ใช้สำหรับงานที่ต้องการกำลังอัดเร็ว เช่น โรงหล่อเสาเข็ม, พื้นสำเร็จรูป
ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตรา TPI สีดำ , ตราเอราวัณ , ตราอินทรีย์ดำ

ประเภทที่ 4 Low Heat Portland Cement ใช้กับงานที่ต้องการคอนกรีตความร้อนต่ำ ปัจจุบันไม่มีผลิตในประเทศไทย

ประเภทที่ 5 Sulfate Resistant Portland Cement ใช้ในบริเวณที่ดินหรือบริเวณใต้น้ำที่มีปริมาณซัลเฟตสูง
ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตรา TPI สีฟ้า , ตราช้างสีฟ้า , ตราอินทรีย์ฟ้า

2. ปูนซีเมนต์ผสม ผลิตตาม มอก.80
ผลิตโดยการบดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับทรายหรือหินปูน จะทำให้ปูนมีการยืดหดตัวน้อยลดการแตกร้าวที่ผิว เหมาะสำหรับผสมทำปูนก่อฉาบ ไม่เหมาะสำหรับงานก่อสร้างที่ต้องการกำลังสูง
ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตรา TPI สีเขียว , ตราเสือ , ตราอินทรีย์แดง

ปูนซีเมนต์ที่ผลิตจาก TPI POLENE

1. ปูนซีเมนต์ทีพีไอ (สีแดง) , TPI (RED) เทียบเท่ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย (มอก.15)

ปูนซีเมนต์ TPI (สีแดง) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรง หรือในที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือที่มีความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำ จะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตราย เป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพรับแรงอัดสูง สำหรับงานคอนกรีตขนาดใหญ่ เช่น อาคารขนาดสูงใหญ่ สนามบิน สะพาน ถนน

2. ปูนซีเมนต์ทีพีไอ (สีดำ) , TPI (BLACK) เทียบเท่ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ **III** (High-early Strength Portland Cement) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย (มอก.15)

ปูนซีเมนต์ TPI (สีดำ) ให้ค่าความต้านทานแรงอัดช่วงต้นสูงกว่า ปูนซีเมนต์ TPI (สีแดง) เม็ดปูนมีความละเอียดมากกว่า เป็นปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการรับน้ำหนักได้เร็วหรือต้องการถอดแบบได้เร็วรวมทั้งใช้ทำผลิตภัณฑ์คอนกรีตอัดแรงทุกชนิด เช่น งานเสาเข็ม งานตอม่อสะพานคอนกรีต งานพื้นสำเร็จรูป

3. ปูนซีเมนต์ทีพีไอ (สีเขียว) , TPI (GREEN) ผลิตตาม มอก.80

เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดากับทราย ประมาณ 25-30% จึงมีราคาถูกลง มีลักษณะแข็งตัวช้าไม่ยืดหรือหดตัวมากเหมาะสำหรับงานก่ออิฐ ฉาบปูน ทำถนน เทพื้น ตอม่อ หล่อภาชนะคอนกรีต หล่อท่อกระเบื้องมุงหลังคา งานอาคาร 2 ถึง 3 ชั้น ตึกแถวหรืองานที่ไม่ต้องการกำลังอัดมาก

ข้อแตกต่างระหว่างปูนซีเมนต์ TPI (แดง), TPI (ดำ), TPI (เขียว)

คุณสมบัติและลักษณะ	TPI (แดง)	TPI (ดำ)	TPI (เขียว)
กำลังอัด (Compressive strength)	ในช่วงอายุ 1,3,7,28 วัน กำลังอัดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สูงที่สุดที่อายุ 28 วัน และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีกตามอายุที่เพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ช้ากว่าเดิม	ในตอนต้นที่อายุ 1 วันกำลังอัดจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วรับกำลังอัดได้มากกว่า TPI แดง แต่จะพัฒนากำลังอัดขึ้นอย่างช้าๆ ที่อายุ 28 วัน จะมีความสามารถรับกำลังอัดได้ใกล้เคียงกับ TPI แดง	ปูนซีเมนต์นี้จะทำให้กำลังอัดช้าในช่วงอายุ 1,3,7,28 วัน กำลังอัดจะพัฒนาเหมือน TPI แดง แต่ค่ากำลังอัดจะต่ำกว่า
ระยะเวลาการก่อตัว (Setting time)	เวลาของจุด Stiff ของ TPI แดง จะช้ากว่า TPI ดำ เล็กน้อยแต่จะใช้เวลามาจุด Initial และ Final Set พอๆ กัน	จะใช้เวลามาจุด Stiff เร็วกว่า TPI แดง สำหรับจุด Initial และ Final พอๆ กัน	จะมี Setting time นานกว่า TPI แดง และ TPI ดำ ทั้ง Stiff, Initial และ Final Setting time
การสูญเสียค่ายุบตัว (Slump loss)	ปูน TPI แดง จะมีการสูญเสียค่ายุบตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลาที่เพิ่มขึ้น	ปูน TPI ดำ ในช่วง 10 นาทีแรกจะมีการสูญเสียค่ายุบตัวเร็วกว่าปูน TPI แดง	ปูน TPI เขียว มีการสูญเสียค่ายุบตัวช้ากว่า TPI แดง
ความร้อนจากปฏิกิริยา (Heat of Hydration)	ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดขึ้นปานกลาง	มีความร้อนเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นสูงมากในช่วงต้น	ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะต่ำกว่าปูน TPI แดง
การยืดหดตัว (Expansion and Shrinkage)	จะมีการยืดหดตัวปานกลาง	มีการยืดหดตัวสูงกว่าปูน TPI แดง	จะมีการยืดหดตัวน้อยกว่าปูน TPI สีแดง
ความละเอียด (Fineness)	มีความละเอียดทดสอบโดยวิธี Air Permeability Test Blaine มีพื้นผิวจำเพาะเฉลี่ยต่ำสุด 2800 cm^2/g	มีความละเอียดมากกว่าปูน TPI สีแดง ทดสอบโดยวิธี Air Permeability Test Blaine พื้นผิวจำเพาะเฉลี่ยต่ำสุด 4000 cm^2/g	มีความละเอียดทดสอบโดยวิธี Air Permeability Test Blaine มีพื้นผิวจำเพาะเฉลี่ยต่ำสุด 3500cm^2/g

ปูนซีเมนต์ทำงานได้อย่างไร ?

เราทราบแล้วว่าปูนซีเมนต์เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญตัวหนึ่งในคอนกรีตเมื่อปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำจะเป็นของเหลวมีความหนืดเรียกว่า **"เพสต์"** เพสต์จะทำหน้าที่เสมือนกาวประสานมวล-รวมเข้าไว้ด้วยกัน เมื่ออายุมากขึ้นเพสต์ก็จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวมาเป็นกึ่งเหลวกึ่งแข็งและในเวลาต่อมาก็จะกลายเป็นของแข็งในที่สุด ซึ่งจะสามารถรับกำลังอัดได้มากขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุที่เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงเวลาหนึ่งความสามารถรับกำลังอัดก็จะเริ่มคงที่

การที่ปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำแล้วเกิดการก่อตัวและแข็งตัวของปูนซีเมนต์ขึ้น เราเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า **"การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น"** ซึ่งเกิดจากสารประกอบในซีเมนต์ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นเราจึงรู้สึกว่าร้อนขึ้นเมื่อสัมผัสกับปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ

เราสามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ง่ายๆ ได้ดังนี้

$$\textbf{Cement} + \textbf{Water} \longrightarrow \textbf{C-S-H gel} + \textbf{Ca}(OH)_2 + \textbf{heat}$$

<u>คำอธิบาย</u>

Cement	=	แทนสารประกอบต่าง ๆ ในปูนซีเมนต์
Water	=	แทนน้ำ
C-S-H gel	=	แทนแคลเซี่ยมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) เป็นองค์ประกอบที่ให้กำลังกับคอนกรีต
$Ca(OH)_2$	=	เป็นผลที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างอย่างมาก pH ประมาณ 12.5 ช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้อย่างดีมาก
heat	=	เป็นความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

<u>สารประกอบหลักใน Cement</u>

1. ไตรคัลเซียมซิลิเกต (C_3S)
2. ไดคัลเซียมซิลิเกต (C_2S)
3. ไตรคัลเซียมอลูมิเนต (C_3A)
4. เตตราคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

คุณสมบัติ	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น	เร็ว (ชม.)	ช้า	ทันที	เร็วมาก (นาที)
2. การพัฒนากำลังอัด	เร็ว (วัน)	ช้า (อาทิตย์)	เร็วมาก (1 วัน)	เร็วมาก (1 วัน)
3. กำลังอัดประลัย	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ
4. ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น	ปานกลาง (500J/g)	ต่ำ (250J/g)	สูง (850J/g)	ปานกลาง (420J/g)
5. คุณสมบัติอื่นๆ	เหมือนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์	-	ไม่คงตัวในน้ำและถูกซัลเฟตทำลายง่าย	ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา

ตารางเปรียบเทียบตราปูนซีเมนต์

CEMENT TYPE	ตรา (BRAND)		
	ทีพีไอ (TPI)	ปูนซีเมนต์ไทย (SCC)	ปูนซีเมนต์นครหลวง (SCCC)
I	ทีพีไอ แดง TPI RED	ช้าง ELEPHANT	อินทรีย์เพชร
II	-	-	-
III	ทีพีไอ ดำ TPI BLACK	เอราวัณ ERAWAN	อินทรีย์ดำ
IV	-	-	-
V	ทีพีไอ ฟ้า TPI BLUE	ช้าง (สีฟ้า) BLUE-ELEPHANT	อินทรีย์ฟ้า
MIXED CEMENT	ทีพีไอ เขียว TPI GREEN	เสือ TIGER	อินทรีย์แดง

มวลรวม (AGGREGATE)

มวลรวมหรือวัสดุผสมคือวัสดุเฉื่อย ได้แก่ หิน ทราย กรวด มวลรวมมีปริมาตร 70-80% ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด จึงมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมาก

หินที่ใช้ผสมคอนกรีต **ได้แก่** หินปูน หินแกรนิต หรือ กรวด

ทราย **ได้แก่** ทรายแม่น้ำ ทรายบก หรือ หินบดละเอียด

<u>คุณสมบัติของมวลรวมในงานคอนกรีต</u>

1. ความแข็งแรง (STRENGTH)
2. รูปร่างและลักษณะผิว (PARTICLE SHAPE AND SURFACE TEXTURE)
3. ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (CHEMICAL STABILITY)
4. ขนาดใหญ่สุด (MAXIMUM SIZE)
5. ขนาดคละ (GRADATION)
6. ค่าความละเอียด (FINENESS MODULUS, F.M.)
7. ความชื้นและการดูดซึม (MOISTURE AND ABSORPTION)
8. ความถ่วงจำเพาะ , ถ.พ. (SPECIFIC GRAVITY)
9. หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง (UNIT WEIGHT AND VOID)

1. ความแข็งแรง (STRENGTH)

กำลังอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) ของคอนกรีตขึ้นอยู่กับความแข็งแกร่งของมอร์ต้าร์และมวลรวม ดังนั้นเมื่อมวลรวมมีความแข็งแกร่งสูงก็จะส่งผลให้คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้สูงขึ้นด้วย

มวลรวมต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีต ความแข็งแรงของหินปูนมีค่าประมาณ 700 - 1500 ก.ก./ ซม.^{2}

2. รูปร่างและลักษณะผิว (PARTICLE SHAPE AND SURFACE TEXTURE)

รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดมากกว่าของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว มวลรวมที่มีผิวหยาบมีรูปร่างแบบยาวจะต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์มากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรูปร่างกลมมน หรือเหลี่ยมที่ระดับความสามารถเทได้ (WORKABILITY) เดียวกัน

มวลรวมที่มีรูปร่างแบนและยาวมีโอกาสที่จะแตกหักเนื่องจากแรงดัดได้ง่ายกว่ามวลรวมที่มีรูปร่างกลมหรือเหลี่ยมส่งผลให้กำลัง (STRENGTH) ของคอนกรีตลดต่ำลงเช่นเดียวกับมวลรวมที่มีผิวเรียบลื่นทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนโดยเพสต์น้อยลงทำให้การแตกหักของ

คอนกรีตจะเกิดขึ้นในบริเวณส่วนที่เป็นซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำให้กำลังยึดเกาะน้อยกว่าความสามารถรับกำลังอัดของมวลรวม

ดังนั้นมวลรวมที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นแง่เหลี่ยมคม ไม่เป็นแผ่นแบนหรือชิ้นยาวควรมีผิวหยาบหรือด้านเพื่อช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนดีขึ้น

3. ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (CHEMICAL STABILITY)

มวลรวมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอก

มวลรวมบางประเภทจะทำปฏิกิริยากับด่าง (ALKALI) ในปูนซีเมนต์เกิดเป็นวุ้นและขยายตัวก่อให้เกิดรอยร้าว โดยทั่วไปในคอนกรีตเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ALKALI – AGGREGATE REACTION (AAR)

4. ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (MAXIMUM SIZE OF AGGREGATE)

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม วัดจากขนาดตะแกรงอันที่ใหญ่กว่าถัดไปจากตะแกรงที่มีเปอร์เซ็นต์ของมวลรวมที่ค้างมากกว่าหรือเท่ากับ 15%

ตัวอย่างการทำ SIEVE ANALYSIS ของหิน

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักค้าง (กรัม)	% ค้าง
1”	9	-
3/4”	1484	7.2
1/2”	7968	38.9
3/8”	8745	42.7
เบอร์ 4	971	4.7
เบอร์ 8	815	4.0
ถาดรอง	508	2.5
รวมน้ำหนัก	**20500**	**100**

ตะแกรงที่มีเปอร์เซ็นต์ของมวลรวมที่ค้างมากกว่าหรือเท่ากับ 15% คือ ตะแกรงเบอร์ 1/2” ดังนั้นขนาดใหญ่สุดของมวลคือขนาดของตะแกรงเบอร์ใหญ่กว่าถัดไป ดังนั้นขนาดใหญ่สุดของหินนี้คือ 3/4”

มวลรวมขนาดใหญ่ต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมที่มีขนาดเล็ก เพื่อให้การเทได้ (WORKABILITY) เท่ากัน เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสโดยรอบน้อยกว่าเมื่อน้ำหนักของมวลรวมเท่ากัน

ดังนั้นถ้าให้ปริมาณซีเมนต์และค่ายุบตัว (SLUMP) เท่ากัน คอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมขนาดใหญ่ก็จะให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่ามวลรวมขนาดเล็ก

แต่ทั้งนี้คุณภาพของหินต้องเป็นไปตามข้อกำหนดควรระวังเรื่องของ MICRO-CRACKING ซึ่งมีลักษณะเป็นรอยร้าวขนาดเล็กๆ เกิดจากกรรมวิธีการผลิตหินมักจะเกิดขึ้นกับหินที่มีขนาดใหญ่หินที่มี MICRO-CRACKING เมื่อนำมาผสมทำคอนกรีตก็จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงได้

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปมักจะมีขนาดไม่เกิน 40 มิลลิเมตร

5. ขนาดคละ (GRADATION)

ขนาดคละ คือ การกระจายของขนาดต่างๆ ของอนุภาค

มวลรวมในคอนกรีตประกอบด้วย มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด ซึ่งจะต้องมีขนาดใหญ่ เล็กคละกันไป

คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละดีจะมีส่วนผสมที่เข้ากันสม่ำเสมอ เทเข้าแบบได้ง่าย ไม่ออกหินออกทราย ทำให้แน่นได้ง่าย การปาดแต่งผิวหน้า กำลังอัดและความทนทานยังเป็นไปตามข้อกำหนด

มวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 ประมาณ 95-100% เราเรียกว่า " มวลรวมหยาบ " ซึ่งได้แก่ หิน กรวด เป็นต้น

มวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 ประมาณ 95-100% เราเรียกว่า " มวลรวมละเอียด " ซึ่งได้แก่ ทราย หินบดละเอียด เป็นต้น

มวลรวมที่มีขนาดคละดีจะทำให้ช่องว่างเหลือน้อยที่สุดทำให้ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุดซึ่งช่วยให้คอนกรีตมีราคาต่ำลงได้

คอนกรีตที่มีมวลรวมละเอียดมากเกินไป จะทำให้ความสามารถในการเทได้ (WORKABILITY) น้อยลง จึงต้องเพิ่มน้ำและเพสต์ให้มากขึ้นแต่ก็ส่งผลต่อกำลังของคอนกรีต

คอนกรีตที่มีมวลรวมหยาบมากเกินไปแม้ว่าความสามารถในการเทได้ (WORKABILITY) จะดีแต่ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาการแยกตัว (SEGREGATE) ของคอนกรีตมวลรวมที่มีขนาดคละดีก็จะส่งผลให้คอนกรีตมี WORKABILITY ดี , STRENGTH ดี และราคาต่ำด้วย

มวลรวมที่มีขนาดคละดี หมายถึง มวลรวมที่มีมวลรวมหยาบและละเอียดขนาดต่างๆ กัน คละเคล้ากันให้เหลือช่องว่างน้อยที่สุด

อัตราส่วนของทรายต่อมวลรวม (S/A) อยู่ในช่วง 0.40-0.50 โดยน้ำหนักหินที่ใช้มี SIZE NUMBER 6 (หินกลาง) และ SIZE NUMBER 7 (หินเล็ก) นำมารวมกันในอัตราส่วน SIZE NO.6 /SIZE NO.7 เท่ากับ 50-65% โดยน้ำหนัก

เครื่องคัดและแยกขนาด

เครื่องทดสอบการรับแรงกระแทก และขัดสี

6. ค่าความละเอียด (FINENESS MODULUS) , (F.M.)

โมดูลัสความละเอียดเป็นค่าที่บอกความละเอียดของทรายหาได้โดยการรวมค่าเปอร์เซ็นต์ค้างสะสม (CUMULATIVE PERCENTAGES RETAINED) บนตะแกรงเบอร์ 4,8,16, 30, 50 และ 100 แล้วหารด้วย 100

- ทรายสำหรับผลิตคอนกรีต ควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดตั้งแต่ 2.2 - 3.2
- ค่า F.M. น้อย (F.M. 2.2) แสดงว่า ทรายละเอียด
- ค่า F.M. มาก (F.M. 3.2) แสดงว่า ทรายหยาบ
- ค่า F.M. ที่เหมาะกับงานคอนกรีต = 2.7

ทรายที่มีความละเอียด (F.M. 2.2) จำเป็นต้องใช้น้ำมากเพื่อให้ได้ความสามารถเทได้ (WORKABILITY) ที่เท่ากันเนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า เมื่อน้ำหนักเท่ากันถ้าทรายมีความหยาบมากเกินไป (F.M. 3.2) ก็จะทำให้ความสามารถในการแทรกประสานเข้าไปในช่องระหว่างมวลรวมหยาบไม่ดีพอ ต้องใช้ปริมาณเพสต์เพื่อเข้าไปแทนที่ช่องว่างมากขึ้นอันทำให้คอนกรีตที่ได้มีราคาสูงขึ้นด้วย

เครื่องคัดขนาดหิน ทราย

7. ความชื้นและการดูดซึม (MOISTURE AND ABSORPTION)

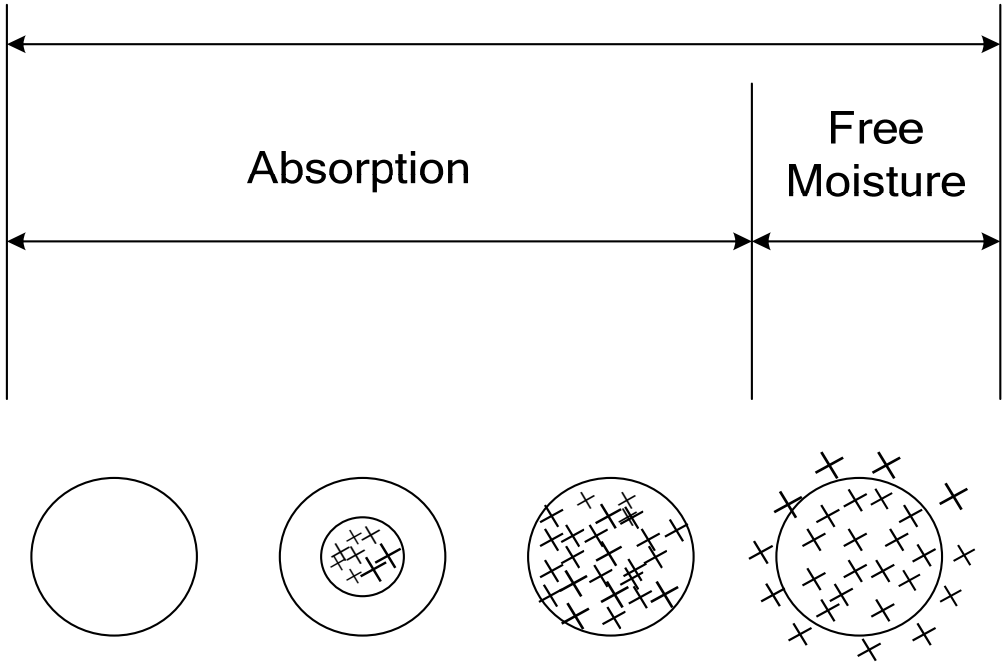
มวลรวมมีรูพรุนภายในบางส่วนติดต่อกับผิวนอกจึงสามารถดูดความชื้นและน้ำบางส่วน ดังนั้นมวลรวมที่เก็บอยู่ในสภาพธรรมชาติจึงมีความชื้นต่างๆ กันไปหากมวลรวมอยู่ในสภาพแห้งก็จะดูดน้ำผสมเข้าไปทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จริงลดลง หากเปียกชื้นก็ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จริงสูงกว่าที่ควรจะเป็น

ทรายหยาบ *ทรายมาตรฐาน* *ทรายละเอียด*

F.M. 3.15 *F.M. 2.65* *F.M. 2.10*

อาจแบ่งสภาพความชื้นออกได้เป็น 4 ลักษณะ ดังนี้

TOTAL MOISTURE



OVEN-DRY	AIR-DRY	SATURATED SURFACE-DRY	WET
แห้ง	แห้งในอากาศ	อิ่มตัวผิวแห้ง	เปียก

1. อบแห้ง (OVEN-DRY) ความชื้นถูกขับออกด้วยความร้อนในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซียลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่
2. แห้งในอากาศ (AIR-DRY) ผิวแห้งแต่อาจมีน้ำในรูพรุน
3. อิ่มตัวผิวแห้ง (SATURATED SURFACE-DRY) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำแต่ผิวแห้ง
4. เปียก (WET) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำ และมีน้ำบนผิวด้วย

ในการคำนวณออกแบบส่วนผสมทุกครั้งจะถือว่ามวลรวมอยู่ในสภาวะ "อิ่มตัว" ผิวแห้ง (SSD)แล้วจึงปรับปริมาณน้ำตามลักษณะของวัสดุที่เป็นจริง

$$\text{TOTAL MOISTURE} = \left[\frac{\text{น.น.ทราย} - \text{น.น.ทรายแห้ง}}{\text{น.น.ทรายแห้ง}}\right] * 100$$

$$\text{ABSORPTION} = \left[\frac{\text{น.น.ทรายอิ่มตัวผิวแห้ง} - \text{น.น.ทรายแห้ง}}{\text{น.น.ทรายแห้ง}}\right] * 100$$

FREE MOISTURE = TOTAL MOISTURE – ABSORPTION

ABSORPTION ของ ทราย = 0.7% โดยน้ำหนัก

ABSORPTION ของ หิน = 0.5% โดยน้ำหนัก

8. ความถ่วงจำเพาะ (SPECIFIC GRAVITY)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมคือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของมวลรวมต่อความหนาแน่นของน้ำ

หรือ ถ.พ. ของมวลรวม = น้ำหนักมวลรวม / น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน

ถ.พ. ทราย = 2.65

ถ.พ. หิน = 2.70

ถ.พ. ซีเมนต์ = 3.15

ค่า ถ.พ. ใช้ในการแปลงน้ำหนักของวัตถุนั้นให้เป็นปริมาตร

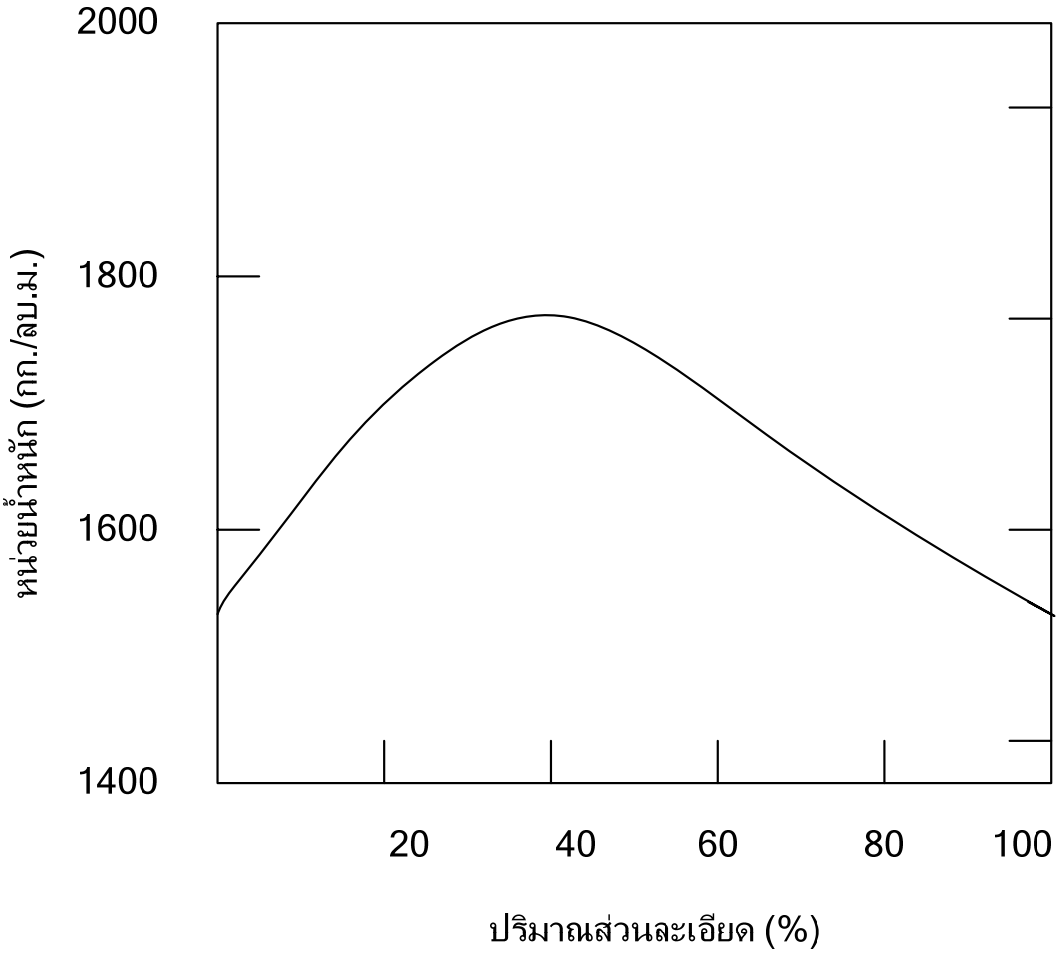
เช่น ซีเมนต์หนัก 315 ก.ก. = 315 / 3.15 = 100 ลิตร

9. หน่วยน้ำหนัก และช่องว่าง (UNITWEIGHT AND VOID)

หน่วยน้ำหนัก คือ น้ำหนักของมวลรวมในขนาดคละที่ต้องการต่อหน่วยปริมาตร หน่วยน้ำหนักจะบอกถึงปริมาตรและช่องว่างระหว่างมวลรวมที่มวลรวมน้ำหนักหนึ่งๆ จะบรรจุลงได้

หน่วยน้ำหนักของมวลรวมที่ใช้อยู่ทั่วๆไปในประเทศไทยมีค่า 1,400-1,600 กก./ลบ.เมตร

การนำเอามวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดมาผสมกันด้วยอัตราส่วนต่างๆ จะมีผลต่อหน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสม ดังรูป



ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณมวลรวมละเอียด

หน่วยน้ำหนักสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อใช้มวลรวมละเอียด 30 - 40% โดยน้ำหนักของมวลรวมทั้งหมดดังนั้นถ้าคำนึงเฉพาะราคาคอนกรีต (ใช้ซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุด) เราควรใช้เปอร์เซ็นต์ทรายในช่วงดังกล่าว แต่ในทางปฏิบัติต้องคำนึงถึงความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสดด้วย

ตามมาตรฐาน ASTM C33

หินที่ใช้ในการผสมทำคอนกรีต ได้แก่ หินปูน หินแกรนิต กรวด แล้วนำมาแปรรูปให้มีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การใช้งาน

ขนาดของหินที่จะนำมาใช้ผสมทำคอนกรีตใช้ SIZE NUMBER

- 6 (19 - 9.5 mm)
- 7 (12.5 - 4.75 mm)
- 67 (19 - 4.75 mm)

ทรายที่นำมาผสมทำคอนกรีตได้แก่ ทรายแม่น้ำ มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มม. หรือที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มม.

ในงานคอนกรีตทั่วไป ใช้ทรายเม็ดหยาบขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.07-4.75 มม. ใช้ในงานคอนกรีตเทพื้น ฐานราก และในที่ที่ต้องการให้รับแรงอัดมากๆ

SIZE NUMBER 6

ขนาดตะแกรง	% ผ่านตะแกรง
1”	100
3/4”	90 – 100
1/2”	20 – 55
3/8”	0 – 15
NO. 4	0 – 5

SIZE NUMBER 7

ขนาดตะแกรง	% ผ่านตะแกรง
3/4”	100
1/2”	90 – 100
3/8”	40 – 70
NO. 4	0 – 15
NO. 8	0 – 5

SIZE NUMBER 67

ขนาดตะแกรง	% ผ่านตะแกรง
1”	100
3/4”	90 - 100
1/2”	-
3/8”	20 – 55
NO. 4	0 – 10
NO. 8	0 – 5

ขนาดคละของทราย (ASTM C33)

ขนาดตะแกรง	% ผ่านตะแกรง
3/8”	100
NO. 4	95 - 100
NO. 8	80 – 100
NO. 16	50 – 85
NO. 30	25 – 60
NO. 50	10 – 30
NO. 100	2 – 10

น้ำ (WATER)

ในการผลิตคอนกรีต น้ำทำหน้าที่ 3 ประการ

1. ใช้ผสมในการทำคอนกรีต
2. ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้น
3. ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรก

<u>น้ำที่ใช้ผสมในการทำคอนกรีตทำหน้าที่</u>

- ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับปูนซีเมนต์
- ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้
- เคลือบหิน ทราย ให้เปียก เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์สามารถเข้าเกาะได้โดยรอบ

<u>สิ่งที่ควรคำนึงถึง</u>

- ต้องเป็นน้ำที่สะอาด เช่น น้ำประปา เพราะจะมีผลต่อคุณภาพของซีเมนต์เพสต์
- น้ำมีหน้าที่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เรียกว่า " **ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น** " ซึ่งปฏิกิริยานี้จะทำต่อเนื่องไปประมาณ 28 วัน
- ปริมาณน้ำที่ใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ปูนซีเมนต์ 100 กก. จะใช้น้ำอย่างน้อยโดยประมาณ 24 ลิตร ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น หรือ น้ำ : ซีเมนต์ (w/c) = 0.24
- น้ำส่วนเกินเพื่อให้คอนกรีตมีความเหลวพอที่จะเทลงแบบได้เราต้องใช้น้ำมากขึ้นโดยทั่วไปจะใช้น้ำประมาณ 48 - 80 ลิตรต่อปูนซีเมนต์ 100 กก.
- การผสมคอนกรีตยิ่งใช้น้ำน้อยคอนกรีตก็จะมีคุณภาพดี ถ้าใช้น้ำมากกำลังจะตกความแข็งแรงจะลดลง (การใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำจึงทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงคุณภาพดีขึ้นได้)

คอนกรีตที่ดีต้องใช้น้ำน้อย
คอนกรีตที่ใช้น้ำน้อย จะแห้งและเทยาก
คอนกรีตที่ใช้น้ำยาลดน้ำ จะใช้น้ำน้อย เหลว และเทง่าย

<u>น้ำส่วนเกิน (Excess water)</u>

คือน้ำที่นอกเหนือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration) กับปูนซีเมนต์ถ้ามีมากไป ก่อให้เกิดผลเสียกับคอนกรีต ดังนี้

- การเยิ้ม (Bleeding)
- การแยกตัว (Segregation)
- การยืดหดตัว (Shrinkage)
- ช่องว่าง (Void)

<u>การตัดสินใจในการเลือกใช้น้ำ</u>

น้ำในการผสมทำคอนกรีตต้องเป็นน้ำที่สะอาด เช่น น้ำประปา น้ำบาดาลที่กรองแล้ว น้ำฝน แต่ก็พบว่างานก่อสร้างอาจนำน้ำจากบ่อ ในแม่น้ำลำคลองและที่อื่นๆ มาใช้ในการผสมคอนกรีตทั้งนี้ต้องพิจารณากันจากสภาพของน้ำเป็นแห่งๆ ไป

วิธีสังเกตอย่างง่ายๆ ว่าน้ำนั้นผสมคอนกรีตได้หรือไม่ ดังนี้

ความสะอาด	ดูความใส สภาพบ่อน้ำต้องไม่มีสารเน่าเปื่อย ปฏิกูล ตะไคร่น้ำ โคลน หรือสารอินทรีย์เจือปนอยู่มาก
สี	น้ำต้องใส ไม่มีสี ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงสารที่ผสมอยู่ในน้ำ กลิ่นน้ำต้องไม่มีกลิ่นเหม็นหรือฉุน
รส	ถ้าชิมดูแล้วต้องไม่ฝาดหรือเปรี้ยว

<u>ข้อกำหนดของน้ำผสมคอนกรีต</u>

ความเป็นกรด-ด่าง	(PH VALUE)	6-8		
ปริมาณของแข็ง	(TOTAL SOLIDS)	ไม่มากกว่า	2000	ppm
ปริมาณซัลเฟต	(SULFATE , SO_4)	ไม่มากกว่า	1000	ppm
ปริมาณคลอไรด์	(CHLORIDE ,Cl)	ไม่มากกว่า	500	ppm

<u>การทดสอบคุณสมบัติ</u>

ปริมาณน้ำที่จะทดสอบจะต้องไม่น้อยกว่า 5 ลิตร น้ำที่เหมาะสมสำหรับผสมคอนกรีตควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. ค่าก่อตัวเริ่มขึ้น (Initial Setting Time) ต่างจากตัวอย่างที่ทำจากน้ำกลั่นไม่เกิน 30 นาที
2. ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดของตัวอย่างที่ใช้น้ำที่นำมาทดสอบต้องได้ค่าที่ไม่น้อยกว่า 90% ของกำลังอัดของตัวอย่างที่ใช้น้ำกลั่น

สารผสมคอนกรีต

แบ่งเป็น 3 พวกใหญ่ๆ คือ สารกระจายฟองอากาศ (AIR ENTRAINING) , น้ำยาเคมี (CHEMICAL ADMIXTURE) และสารประสมประเภทแร่ (MINERAL ADMIXTURE)

- AIR ENTRAINING สารกระจายกักฟองอากาศ
- CHEMICAL ADMIXTURE ตามมาตรฐาน A.S.T.M. C 494 แบ่งออกเป็น 7 ประเภท คือ

TYPE A	WATER-REDUCING (ลดน้ำ)
TYPE B	RETARDER (หน่วงระยะเวลาการก่อตัว)
TYPE C	ACCELERATOR (เร่งระยะเวลาการก่อตัว)
TYPE D	WATER-REDUCING AND RETARDER (ลดน้ำและหน่วงการก่อตัว)
TYPE E	WATER-REDUCING AND ACCELERATOR (ลดน้ำและเร่งการก่อตัว)
TYPE F	HIGH RANGE WATER-REDUCING (ลดน้ำจำนวนมาก)
TYPE G	HIGH RANGE WATER-REDUCING AND RETARDER (ลดน้ำจำนวนมากและหน่วงการก่อตัว)

- MINERAL ADMIXTURE ได้แก่ FLY ASH , MICROSILICA etc.

สารผสมคอนกรีตที่ใช้ในงานคอนกรีตผสมเสร็จ

น้ำยาลดน้ำ (WATER-REDUCING ADMIXTURE) , (PLASTICIZER)

ในการผสมคอนกรีตเราควรจะใช้น้ำส่วนเกินให้น้อยที่สุดเพื่อที่จะได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดี แข็งแรง ทนทาน แต่การใช้น้ำน้อยจะทำให้คอนกรีตแห้ง เทเข้าแบบยาก (LOW WORKABILITY) การใส่น้ำยาลดน้ำจะช่วยให้เราผสมคอนกรีตโดยใช้น้ำส่วนเกินน้อยแต่คอนกรีตเหลวเทง่าย

น้ำยาหน่วง (RETARDING ADMIXTURE)

คอนกรีตเมื่อผสมขึ้นมาแล้วตามปกติจะต้องใช้ให้หมดภายใน 45 นาที ซึ่งในบางครั้งถ้าผสมปริมาณมากๆ อาจไม่สามารถทำงานได้ทันเวลา การใช้น้ำยาหน่วงจะช่วยยืดเวลาการใช้งานออกไปได้อีก ผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จทุกรายจะใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่มีสารหน่วงอยู่ด้วย

ข้อควรระวัง การใช้น้ำยาหน่วงควรใช้ในปริมาณตามที่ผู้ผลิตแนะนำไว้เพราะถ้าใช้มากเกินไปคอนกรีตอาจไม่แข็งตัวได้

น้ำยาลดน้ำอย่างมาก (HIGH RANGE WATER REDUCING ADMIXTURE) , (SUPER PLASTICIZER)

เนื่องจากในการผสมคอนกรีตยิ่งเราใช้น้ำน้อยเท่าไรคอนกรีตก็จะยิ่งมีคุณภาพดี กำลังสูง เนื้อแน่น ฉะนั้นในกรณีที่เราต้องการคอนกรีตคุณภาพสูง เช่น งานคอนกรีตอัดแรงในโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป เราจึงต้องใช้น้ำยาประเภทนี้

น้ำยากันซึม (WATER PROOF)

บางกรณีที่ใช้งานต้องสัมผัสกับน้ำอยู่ตลอดเวลา คอนกรีตที่ไม่มีการกระจายตัวของเม็ดซีเมนต์ดีพอและคอนกรีตที่ไม่มีความทึบน้ำพอ น้ำก็จะสามารถซึมผ่านตามช่องว่างที่ต่อเนื่องออกมาได้น้ำยากันซึมจะช่วยลดอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ของคอนกรีตและลดรูโพรงหลังการบ่มทำให้ลดการซึมผ่านของน้ำลง

POZZOLANS

เป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับปูนขาว (LIME STONE) , ($Ca(OH)_2$) และเมื่อแข็งตัวก็สามารถรับแรงอัดได้เช่นเดียวกับคอนกรีต เช่น

- FLY ASH ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหิน
- SLAG เป็น BY – PRODUCT จากการถลุงเหล็ก
- MICROSILICA เป็น BY – PRODUCT จากการผลิต SILICON METAL และ SILICON ALLOY

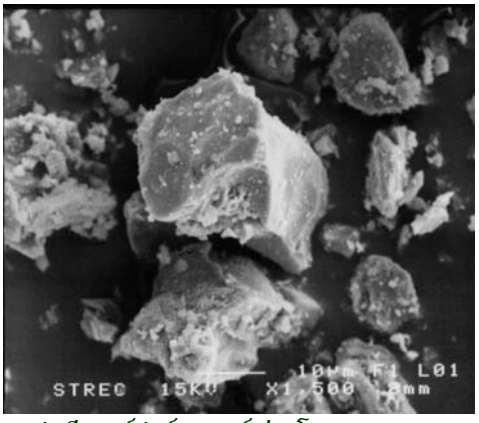
เถ้าลอย (FLY ASH)

เถ้าลอย (FLY ASH) คือ วัสดุเหลือทิ้ง (by product) ที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า มีลักษณะเป็นของแข็งเม็ดกลมมีความละเอียดซึ่งลอยตัวขึ้นมาพร้อมกับอากาศร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินที่บดละเอียดจะถูกจับด้วยเครื่องดักจับ (Precipitator) และจะถูกส่งต่อไปยังถังเก็บเถ้าลอย (FLY ASH) ที่ได้จากการเผานี้ส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของซิลิก้า และอลูมินา

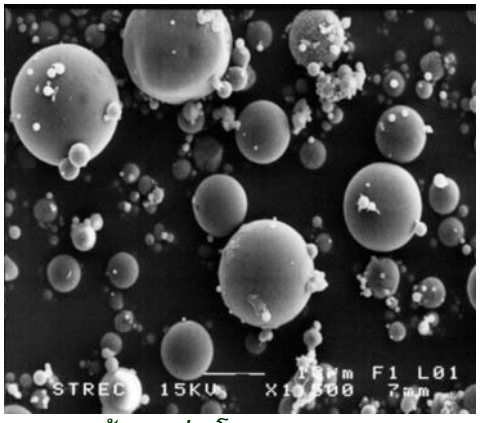
<u>ลักษณะของเถ้าลอย (FLY ASH)</u>

- มีขนาดตั้งแต่ 0.001 – 1.0 มิลลิเมตร
- มีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์ พื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักอาจสูงเป็น 2 เท่า
- มีรูปร่างเม็ดค่อนข้างกลม
- มีส่วนประกอบของซิลิก้า (Sio_2 เป็นส่วนใหญ่)
- มีคุณสมบัติเป็นปอซโซลาน (POZZOLAN) ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิค (POZZOLANIC REACTION)

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย (FLY ASH) จะเหมือนกันกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แต่จะมีสัดส่วนไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับถ่านหินที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง



*ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ถ่ายโดย **SEMx1500***



*เถ้าลอย ถ่ายโดย **SEMx1500***

<u>ประโยชน์ของการใช้ เถ้าลอย (FLY ASH) เป็นส่วนผสมในคอนกรีต</u>

1. ปรับปรุงความสามารถเทได้ (Workability) ของคอนกรีตทำให้คอนกรีตลื่นไหลเข้าแบบได้ดี เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอย (FLYASH) ซึ่งมีรูปร่างกลมขณะที่เม็ดซีเมนต์มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม

2. ลดการเยิ้ม (Bleeding) และแนวโน้มการแยกตัว (Segregation) ของคอนกรีตสด เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย (FLY ASH) จะต่ำกว่าของปูนซีเมนต์และมวลรวมผสมคอนกรีตแต่มีความละเอียดมากกว่าทำให้เพิ่มปริมาตรของส่วนละเอียดและกระจายอยู่ทั่วเนื้อคอนกรีตสด

3. อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นช้าความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะลดลงส่งผลให้คอนกรีตลดการแตกร้าวเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิของคอนกรีตน้อยลงโดยเฉพาะโครงสร้างขนาดใหญ่

4. เพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุมากกว่า 28 วันและเพิ่มความทนทาน (Durability) ของคอนกรีตที่อายุต่ำกว่า 28 วัน คอนกรีตผสมเถ้าลอย (FLY ASH) จะมีกำลังต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องจากคอนกรีตผสมเถ้าลอย (FLY ASH) จะมีปริมาณของปูนซีเมนต์น้อยกว่าคอน-กรีตธรรมดาจากการใช้เถ้าลอย (FLY ASH) แทนปริมาณของปูนซีเมนต์

ดังนั้นปริมาณ CaO ที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารประกอบเริ่มต้นใน *<u>ปฏิ-กิริยาไฮเดรชั่น</u>* จะลดลงตามปูนซีเมนต์ที่ลดลงด้วยเป็นผลให้กำลังอัดในช่วงแรกของคอนกรีตผสม FLY ASH ต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาแต่เมื่ออายุของคอนกรีตมากขึ้นปริมาณเถ้าลอย (FLY ASH) แทนที่ปูนซีเมนต์อย่างเหมาะสมจะทำปฏิกิริยาปอซโซลานก่อให้เกิดสารประกอบแคล-เซี่ยมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) เพิ่มขึ้น ทำให้ช่องว่างในเนื้อคอนกรีตลดลงและกำลังอัดเพิ่มมากขึ้นกว่าคอนกรีตธรรมดา

<u>การทำงานของเถ้าลอย (FLY ASH)</u>

ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ได้สารประกอบคัลเซียมซิลิเกตไฮ-เดรต (Calcium Silicate Hydrate , CSH) ซึ่งทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมให้ส่วนผสมของคอนกรีตจับตัวกันและสามารถรับกำลังอัดได้ นอกจากนี้ยังได้ปูนขาว (CalciumHydroxide ,$Ca(OH)_2$) เกิดขึ้นอีกประมาณ 20-25% โดยเป็นส่วนที่ไม่สามารถรับกำลังอัดได้และในบางครั้งยังก่อให้เกิดผลเสียกับคอนกรีตด้วย

แสดงดังสมการ

$$\textbf{Cement} + \textbf{Water} \longrightarrow \textbf{C-S-H (gel)} + Ca(OH)_2$$

เมื่อเรานำเถ้าลอย (FLY ASH) ผสมลงในคอนกรีต Sio_2 ซึ่งมีอยู่มากในเถ้าลอย (FLY ASH) ก็จะทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ และก่อให้เกิด CSH เพิ่มขึ้นดังสมการ

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 \text{ จาก } \textbf{FLY ASH} + \textbf{Water} \longrightarrow \textbf{C-S-H (gel)}$$

C-S-H ที่เพิ่มขึ้นนี้จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตให้ดีขึ้น อาทิเช่น คุณสมบัติด้านกำลังอัด ความทนทาน การต้านการซึมผ่านของน้ำ เป็นต้น

ตารางแสดงลักษณะทางกายภาพของปูนซีเมนต์ และ FLY ASH

Property	Portland Cement Type I	FLY ASH
Specific Surface Blaine (cm^2/g)	3,400	3,800
Density (kg/m^3)	1,400	900
Specific Gravity	3.15	2.3
Color	Gray	Light Gray to Dark Gray

การใช้ FLY ASH เป็นส่วนผสมในคอนกรีต

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเราใช้ FLY ASH แทนปริมาณของปูนซีเมนต์โดยใช้ประมาณ 10% - 50% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ที่ได้ออกแบบไว้

ตัวอย่างการใช้ FLY ASH แทนปริมาณปูนซีเมนต์ Portland Type I

Designed Cement Content (kg/m^3)		% FLY ASH by weight (kg/m^3)				
		10%	15%	20%	30%	50%
300	FLY ASH	30	45	60	90	150
	Cement	270	255	240	210	150
350	FLY ASH	35	52	70	105	175
	Cement	315	298	280	245	175
400	FLY ASH	40	60	80	120	200
	Cement	360	340	320	280	200
450	FLY ASH	45	67	90	135	225
	Cement	405	383	360	315	225
500	FLY ASH	50	75	100	150	250
	Cement	450	425	400	350	250

ตารางแสดงองค์ประกอบทางเคมีของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ FLY ASH

OXIDE	% by weight	
	Portland Cement Type I	FLY ASH
Sio_2	20.0	48.0
Al_2O_3	5.0	26.0
Fe_2O_3	3.0	10.0
CaO	65.0	3.0
MgO	1.1	2.0
SO_3	2.4	0.7
Na_2O	0.2	1.0
K_2O	0.9	3.0
The other oxide	1.4	1.3
Loss of Ignition	1.0	5.0

ซีเมนต์เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้คัลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ซึ่งทำหน้าที่รับกำลังอัดและปูนขาว ($Ca(OH)_2$) ซึ่งมีประมาณ 20 - 25% โดยเป็นส่วนที่ไม่สามารถรับแรงอัดได้ถ้าเรานำ POZZOLAN ผสมลงในคอนกรีตก็จะช่วยเปลี่ยนปูนขาวส่วนเกินนี้ให้เป็น (C-S-H) นั่นคือจะสามารถรับแรงอัดได้มากขึ้น

แสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$\text{CEMENT + WATER} \longrightarrow \text{C-S-H gel + } Ca(OH)_2 \text{ + HEAT}$$

องค์ประกอบที่ให้กำลังกับคอนกรีตคือ C-S-H

POZZOLAN จะทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ ได้ผลลัพธ์เป็น C-S-H ดังสมการ

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 \text{ จาก POZZOLAN + WATER} \longrightarrow \text{C-S-H (gel)}$$

เนื่องจาก MICROSILICA มี SiO_2 อยู่สูงถึงกว่า 90% ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเร็วมากทำให้การพัฒนากำลังอัดทั้งช่วงต้นและช่วงปลายเป็นไปได้เร็วกว่าคอนกรีตทั่ว ๆ ไป

นอกจากนี้ MICROSILICA เป็นอนุภาพที่มีขนาดเล็ก เล็กกว่า CEMENT 100 เท่าดังนั้นจะไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ (MICROFILLER EFFECT)ทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นสูงมากเป็นผลดีทั้งด้านกำลังอัดและความทนทาน

การผสมคอนกรีต (MIXING)

การวัดส่วนผสมอาจทำได้ 2 วิธี คือ การตวงส่วนผสมโดยปริมาตรและการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนักการชั่งน้ำหนักจะให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำกว่าการตวงปริมาตรมาก จึงเหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดใหญ่ งานคอนกรีตกำลังอัดปานกลาง - สูง

ในกรณีที่หินทรายมีความชื้นเราก็สามารถปรับน้ำหนักหินทรายให้ถูกต้อง เนื่องจากความชื้นได้แต่วิธีการตวงทำไม่ได้ เช่น

ต้องการผสมคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ตามสัดส่วนดังนี้

ซีเมนต์	300	กิโลกรัม
ทราย	870	กิโลกรัม
หิน (3/4” - #4)	1,050	กิโลกรัม
น้ำ	180	ลิตร
น้ำยา TYPE D	750	ซีซี
SLUMP	7.5 ± 2.5	เซนติเมตร

ถ้าทรายมีความชื้น (TOTAL MOISTURE = 5%) จงคำนวณหาสัดส่วนผสมใหม่

<u>การคำนวณ</u>

1. หา FREE MOISTURE	=	5 – 0.7	=	4.3%
2. ต้องชั่งทรายเพิ่มอีก	=	870 * 4.3/100	=	37.4 ก.ก.
3. น้ำที่ต้องใช้	=	180 – 37.4	=	142.6 ลิตร

เพราะฉะนั้น สัดส่วนผสมที่ต้องชั่งใหม่ คือ

ซีเมนต์	=	300	กิโลกรัม
ทราย (870 + 37.4)	=	907.4	กิโลกรัม
หิน (3/4” - #4)	=	1,050	กิโลกรัม
น้ำ	=	142.6	ลิตร
น้ำยา TYPE D	=	750	ซีซี

เวลาในการผสมคอนกรีต

เวลาที่เหมาะสมที่สุดในการผสม คือ เวลาพอดีที่ทำให้ได้คอนกรีตที่มีเนื้อสม่ำเสมอทุกๆ ครั้งที่ผสมซึ่งจะได้จากการทดลองผสมก่อนใช้งานจริง ได้ข้อสรุปดังนี้

1. ถ้าส่วนผสมแห้ง ปูนซีเมนต์น้อย จะต้องผสมเป็นเวลานาน
2. ถ้ามวลรวมมีความเป็นเหลี่ยมมุม จะต้องใช้เวลาผสมนานกว่ามวลรวมที่มีรูปร่างกลม

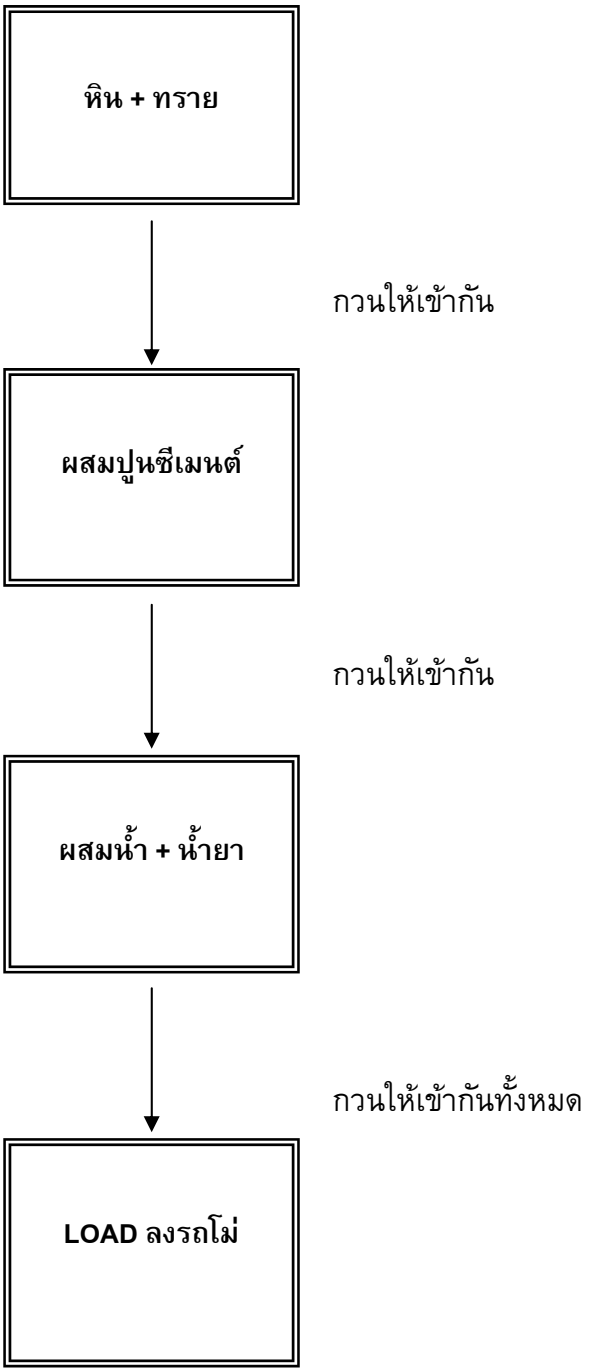
ในกรณีที่คอนกรีตถูกผสมเป็นเวลานานน้ำจะระเหยออกจากคอนกรีตนั้น ส่งผลให้คอนกรีตมีความสามารถลื่นไหลเข้าแบบลดลงและจะเริ่มก่อตัวขึ้น จะส่งผลดังนี้คือ มวลรวมที่มีกำลังต่ำจะแตกทำให้ส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น ความสามารถเทได้ลดลง และผลของแรงเสียดทานจะก่อให้อุณหภูมิของส่วนผสมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณฟองอากาศลดลงอีกด้วย

การใช้เครื่องผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีตต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 1 นาทีต่อการผสมคอนกรีต 0.75 ลูกบาศก์เมตร หรือน้อยกว่า และต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นอีกไม่น้อยกว่า 15 วินาทีต่อจำนวนคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 0.75 ลูกบาศก์เมตร

ในกรณีที่มีการผสมซ้ำเป็นช่วงๆ ประมาณ 2-3 ชั่วโมง จะไม่เป็นผลเสียต่อกำลังและความทนทาน แต่ความสามารถเทได้จะลดลงถ้าไม่มีการป้องกันการสูญเสียน้ำหรือความชื้นจากเครื่องผสม ถ้าเติมน้ำลงไปกำลังอัดจะต่ำลง และมีการหดตัว (SHRINKAGE) เพิ่มขึ้น

ลำดับการผสม เพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอ ควรผสมดังนี้



ตามมาตรฐาน ASTM C94

ความเร็วของการหมุนของโม่ประมาณ 2 – 6 รอบต่อนาที เพื่อไม่ให้คอนกรีตก่อตัวก่อนเทลงหน้างาน

การลำเลียงคอนกรีต

ในการลำเลียงคอนกรีตที่ผสมแล้ว ต้องคำนึงถึงสภาพการลำเลียงคอนกรีตว่าต้องระวังให้เนื้อคอนกรีตสม่ำเสมอและไม่แยกตัวก่อนการเทลงแบบ โดยต้องป้องกันคอนกรีตจากสภาพแวดล้อม และภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความร้อน และความชื้น เป็นต้น

การเลือกวิธีการลำเลียง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1. ปริมาณ และอัตราการเทในแต่ละครั้ง
2. ขนาด และประเภทของโครงสร้าง
3. ลักษณะภูมิประเทศ สถานที่ทำงาน และเส้นทางการขนส่ง
4. ค่าใช้จ่ายต่างๆ เช่น ค่าแรง ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ เป็นต้น

วิธีการลำเลียงคอนกรีต

วิธีการลำเลียงคอนกรีตที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับสถานที่ผสมคอนกรีตและบริเวณที่จะทำการเทคอนกรีตโดยควรเลือกวิธีที่ไม่ทำให้คอนกรีตแยกตัว ตามข้อพิจารณาดังต่อไปนี้

1. เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับดียวกับบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ควรใช้วิธีการลำเลียงโดยคนงาน รถเข็น รถผสมคอนกรีต สายพานลำเลียง หรือคอนกรีตปั๊ม เป็นต้น

2. เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับสูงกว่าบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ควรใช้วิธีการลำเลียงโดยราง สายพานลำเลียง หรือคอนกรีตปั๊ม เป็นต้น

3. เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับต่ำกว่าบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ควรใช้วิธีการลำเลียงโดยใช้รอก ใช้ลิฟท์ รถเครน ทาวเวอร์เครน สายพานลำเลียงหรือคอนกรีตปั๊ม เป็นต้น

4. เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ห่างจากบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ต้องใช้วิธีการลำเลียงโดยรถโม่ขนคอนกรีตมาส่งที่หน่วยงาน และลำเลียงต่อไปสู่บริเวณที่ต้องการเทคอนกรีตด้วยวิธีอื่นที่เหมาะสม

การเทคอนกรีต

การเทคอนกรีตที่ดี คือ การเทเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีส่วนผสมสม่ำเสมอ ไม่มีการแยกตัว และไม่เกิดรูพรุน

ไม่ควรเทคอนกรีตให้กระทบโดยตรงกับเหล็กเสริมหรือข้างแบบ ควรเทคอนกรีตลงมาตรงๆ และไม่ควรให้คอนกรีตไหลไปในแนวราบเป็นระยะทางไกล ยกเว้นในกรณีของคอนกรีตไหลซึ่งถูกออกแบบโดยมีการควบคุมการแยกตัว ถ้าพบว่ามีการแยกตัวของคอนกรีตหลังเริ่มการเทคอนกรีตจะต้องมีการแก้ไขทันที

ภาพตัวอย่างการทำงานจริง

1. เตรียมแบบ

2. เทคอนกรีต

3. การจี้เขย่าคอนกรีต

4. แต่งหน้าคอนกรีต

5. คอนกรีตกำลังเซ็ตตัว

6. ขัดพื้นผิวหน้าคอนกรีต

ในกรณีที่แบ่งเทคอนกรีตต่อเนื่องกันเป็นชั้นๆ คอนกรีตที่เทใหม่ในชั้นบนควรเททับก่อนที่คอนกรีตชั้นล่างจะเริ่มก่อตัว

ในกรณีที่แบบมีความสูงมาก ไม่ควรเทคอนกรีตโดยปล่อยให้คอนกรีตตกอิสระจากส่วนบนที่สุดของแบบ แต่ควรใช้วิธีการใดๆ เช่น สายพาน รางเท (Chute) ถัง หรือต่อท่อ เพื่อให้ระยะตกอิสระของคอนกรีตไม่เกิน 1.5 เมตร

การเทคอนกรีตโดยใช้ปั๊มยิงคอนกรีต

การเทคอนกรีตโดยการต่อท่อ

การเทคอนกรีตโดยใช้รางเท

ถ้าตรวจพบการเยิ้มของคอนกรีตระหว่างการเทคอนกรีต ควรหยุดเทจนกว่าจะกำจัดน้ำที่เยิ้มออกมาบนผิวคอนกรีตให้หมดก่อนที่จะเทคอนกรีตทับชั้นบนต่อไป

การเทคอนกรีตต่อเนื่องกันในองค์อาคารที่มีความสูง เช่น เสา หรือกำแพง ควรเทด้วยอัตราที่ไม่เร็วเกินไป โดยปกติอัตราการเทที่เหมาะสมจะอยู่ที่ประมาณ 2 ถึง 3 เมตร (ความสูง) ต่อชั่วโมง

การแยกตัวของคอนกรีตในขณะที่เทอาจทำให้เกิดรูพรุน (Honey-comb) ในคอนกรีตที่เทแล้วทั้งนี้เนื่องมาจากการที่หินซึ่งแยกตัวจากมอร์ต้าร์จะรวมกันอุดตัวอยู่ในบริเวณเหล็กเสริมที่หนาแน่นและกีดขวางไม่ให้คอนกรีตผ่านเข้าไปเติมในบริเวณเหล่านั้นได้

การเทคอนกรีตในองค์อาคารที่มีความสูง เช่น เสา หรือ กำแพง จะทำให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำในคอนกรีตมาก ทั้งนี้เนื่องจากคอนกรีตด้านล่างจะต้องรับน้ำหนักของคอนกรีตที่อยู่ด้านบนมาก ทำให้น้ำเคลื่อนที่ขึ้นไปด้านบน น้ำที่เคลื่อนที่เหล่านี้จะทำให้เกิดการเยิ้ม (Bleeding) และมักจะสะสมตัวอยู่บริเวณด้านล่างของเหล็กเสริมและบริเวณด้านล่างของมวลรวม ทำให้แรงยึดหน่วงระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมและแรงยึดหน่วงระหว่างซีเมนต์เพสต์กับมวลรวมลดลง

การทำให้แน่น

ในขณะที่กำลังเทคอนกรีตอยู่นั้น จำเป็นต้องทำคอนกรีตให้แน่นโดยทั่วถึง โดยใช้อุปกรณ์ที่ใช้มือ ใช้เครื่องเขย่า หรือจะใช้เครื่องตบแต่ง ทั้งนี้เพื่อให้ได้คอนกรีตที่แน่น มีการยึดหน่วงกับเหล็กเสริมดี และได้ผิวเรียบ

การกระทุ้งด้วยมือ

สำหรับคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเทได้ ต้องใช้เครื่องมือกระทุ้งให้สุดความหนาของชั้นที่กำลังเท และควรกระทุ้งให้ถึงหรือเลยเข้าไปในชั้นคอนกรีตข้างใต้เป็นระยะประมาณ 10 ซม. การใช้เกรียงตบตรงหน้าแบบหรือใกล้ ๆ กับแบบตั้ง จะช่วยลดความขรุขระที่ผิว และลดรูช่องว่างที่เกิดจากฟองอากาศด้วย

การกระทุ้งด้วยมือ เหมาะสมกับงานคอนกรีตที่มีปริมาณการเทน้อย หรืองานคอนกรีตที่เหลวมาก เหล็กกระทุ้งอาจเป็นเหล็กเส้นกลม หรือเหล็กข้ออ้อย ซึ่งควรเลือกใช้ท่อนเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 16 มม.

การเขย่าด้วยเครื่อง

การเขย่าด้วยเครื่องจะช่วยทำให้คอนกรีตที่มีค่ายุบตัวต่ำสามารถอัดตัวแน่นได้ในแบบหล่อที่ลึกและแคบ หรือบริเวณที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น และมีระยะเรียงของเหล็กเสริมแคบมาก

เครื่องเขย่าคอนกรีตแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ เครื่องเขย่าภายในแบบหล่อ เครื่องเขย่าที่วางบนผิวคอนกรีต และเครื่องเขย่าชนิดที่ตรึงติดกับแบบหล่อ

เครื่องเขย่าภายในแบบหล่อ โดยทั่วไปหมายถึงเครื่องเขย่าแบบหัวจุ่ม ควรจะแหย่ลงไปในแนวดิ่งจนสุดความลึกของชั้นที่จะเท ไม่ควรลากหัวจุ่มผ่านคอนกรีตนั้นในแนวราบ ควรใช้วิธีแหย่หัวจุ่มลงไปและถอนขึ้นมาอย่างช้า ๆ โดยเดินเครื่องอยู่ตลอดเวลาขณะที่กำลังถอนหัวจุ่มออกจากมวลคอนกรีต เพื่อจะได้ไม่มีรูช่องว่างเหลือค้างอยู่ในคอนกรีต ไม่ควรใช้เครื่องเขย่าเพื่อทำให้คอนกรีตไหลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง เพราะจะทำให้เกิดการแยกตัวขึ้นโดยหินจะตกค้างอยู่ในบริเวณที่แหย่หัวจุ่มค่อนข้างนาน

เครื่องเขย่าชนิดวางบนผิวคอนกรีต จะใช้ทำให้ชั้นที่กำลังเทแน่นตัวจนตลอดความหนาของชั้น แต่ถ้าทำให้แน่นตลอดชั้นไม่ได้ ควรลดความหนาของชั้นลงมา หรือใช้เครื่องเขย่าที่มีกำลังสูงกว่า

เครื่องเขย่าชนิดที่ตรึงติดแบบหล่อ จะใช้ได้ดีสำหรับการเขย่าคอนกรีตที่มีความหนาน้อย หรือที่ตำแหน่งซึ่งเครื่องเขย่าภายในเข้าไม่ถึงเท่านั้น

การบ่มคอนกรีต

คอนกรีตจำเป็นต้องได้รับการบ่มทันทีหลังจากเสร็จสิ้นการเทและควรบ่มต่อไปจนกระทั่งคอนกรีตมีกำลังตามต้องการ หลักการทั่วไปของการบ่มที่ดีจะต้องสามารถป้องกันคอนกรีตไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้นไม่ว่าจะด้วยความร้อนหรือลม ไม่ให้คอนกรีตร้อนหรือเย็นมากเกินไป ไม่ให้สัมผัสกับสารเคมีที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต และไม่ถูกชะล้างโดยน้ำฝนหลังจากเทคอนกรีตเสร็จใหม่ๆ เป็นต้น

การบ่มเปียก

ในกรณีทั่วไปคอนกรีตต้องได้รับการป้องกันจากการสูญเสียความชื้นจากแสงแดดและลมหลังจากเสร็จสิ้นการเทจนกระทั่งคอนกรีตเริ่มแข็งแรง และหลังจากที่คอนกรีตเริ่มแข็งแรงแล้วผิวหน้าของคอนกรีตที่สัมผัสกับบรรยากาศยังต้องคงความเปียกชื้นอยู่ ซึ่งอาจทำได้ด้วยการปกคลุมด้วยกระสอบเปียกน้ำ ผ้าเปียกน้ำ หรือฉีดน้ำให้ชุ่ม เป็นต้น คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ควรบ่มเปียกติดต่อกันอย่างน้อย 7 วัน ส่วนคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ควรบ่มอย่างน้อย 3 วัน ในกรณีของคอนกรีตที่มีวัสดุปอซโซลานผสมควรบ่มมากกว่า 7 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของวัสดุปอซโซลานที่ใช้

คอนกรีตที่ไม่ได้รับการบ่มอย่างถูกต้องจะไม่มีการพัฒนากำลังเท่าที่ควรเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต้องการน้ำ นอกจากนั้นการสูญเสียความชื้นจากผิวหน้าของคอนกรีตที่ไม่ได้รับการบ่มจะทำให้เกิดการแตกร้าวด้วย

กรณีใช้กระสอบหรือผ้าในการบ่มคอนกรีต กระสอบหรือผ้าที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่มีความหนาพอสมควรเพื่อไม่ให้แห้งเร็วเกินไป และต้องรดน้ำให้เปียกชุ่มอยู่ตลอดเวลาการบ่มด้วย

การบ่มเปียก

การบ่มแบบควบคุมอุณหภูมิ

การบ่มแบบควบคุมอุณหภูมิมีความจำเป็นต่องานบางประเภทโดยเฉพาะงานคอนกรีตหลา สำหรับงานคอนกรีตที่อยู่ในที่มีอุณหภูมิสูงมากหรืองานคอนกรีตหลา ซึ่งอาจเกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในคอนกรีตกับสิ่งแวดล้อมภายนอกการลดอุณหภูมิเริ่มต้นอาจทำ

ได้หลายวิธี เช่น ลดอุณหภูมิของคอนกรีตเอง โดยใช้ทรายและหินที่มีอุณหภูมิต่ำ หรือใช้น้ำเย็นในการผสม หรือใช้วัสดุผสมที่ช่วยลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เช่น ใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เป็นต้น หรืออาจมีการฝังท่อน้ำเย็นสำหรับหมุนเวียนน้ำเย็น เพื่อลดอุณหภูมิภายในคอนกรีต หรือห่อหุ้มรอบคอนกรีตด้วยฉนวนกันความร้อนเพื่อลดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในเนื้อคอนกรีต หรือหลายอย่างประกอบกัน

การบ่มแบบเร่งกำลัง

ในงานบางประเภท เช่น การผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป อาจมีความจำเป็นต้องใช้การบ่มแบบเร่งกำลัง เช่น บ่มไอน้ำหรือบ่มไอน้ำความดันสูง เป็นต้น การบ่มแบบเร่งกำลังนั้นควรคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้ระยะเวลาที่จะเริ่มบ่ม อัตราการเร่งอุณหภูมิ อุณหภูมิสูงสุดของการบ่ม ระยะเวลาการคงอุณหภูมิสูงสุดไว้ อัตราการลดอุณหภูมิ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ควรได้มาจากผลการทดสอบหรือประสบการณ์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลเสียต่อคอนกรีตที่บ่ม การบ่มแบบเร่งกำลังนี้ต้องให้คอนกรีตมีกำลังไม่น้อยกว่ากำลังที่ออกแบบไว้ และต้องไม่มีผลเสียต่อความคงทนของคอนกรีตด้วย

สารเคมีสำหรับการบ่ม

โดยปกติสารเคมีสำหรับการบ่มจะใช้ต่อเมื่อไม่สามารถบ่มคอนกรีตแบบเปียกได้ สารเคมีสำหรับการบ่มนั้นจะใช้ฉีดพ่นลงบนผิวหน้าของคอนกรีตที่ต้องการบ่มโดยควรฉีดพ่นซ้ำมากกว่า 1 เที่ยว เพื่อให้แผ่นฟิล์มเคลือบผิวหน้าคอนกรีตมีความหนาเพียงพอ และควรฉีดพ่นทันทีที่ผิวหน้าคอนกรีตเริ่มแห้งเพื่อไม่ให้น้ำที่ค้างบนผิวหน้าคอนกรีตผสมกับสารเคมี ถ้ายังไม่สามารถฉีดพ่นทันทีที่ผิวหน้าคอนกรีตเริ่มแห้งก็ให้ฉีดน้ำบนผิวคอนกรีตให้เปียกชุ่มไว้ก่อน

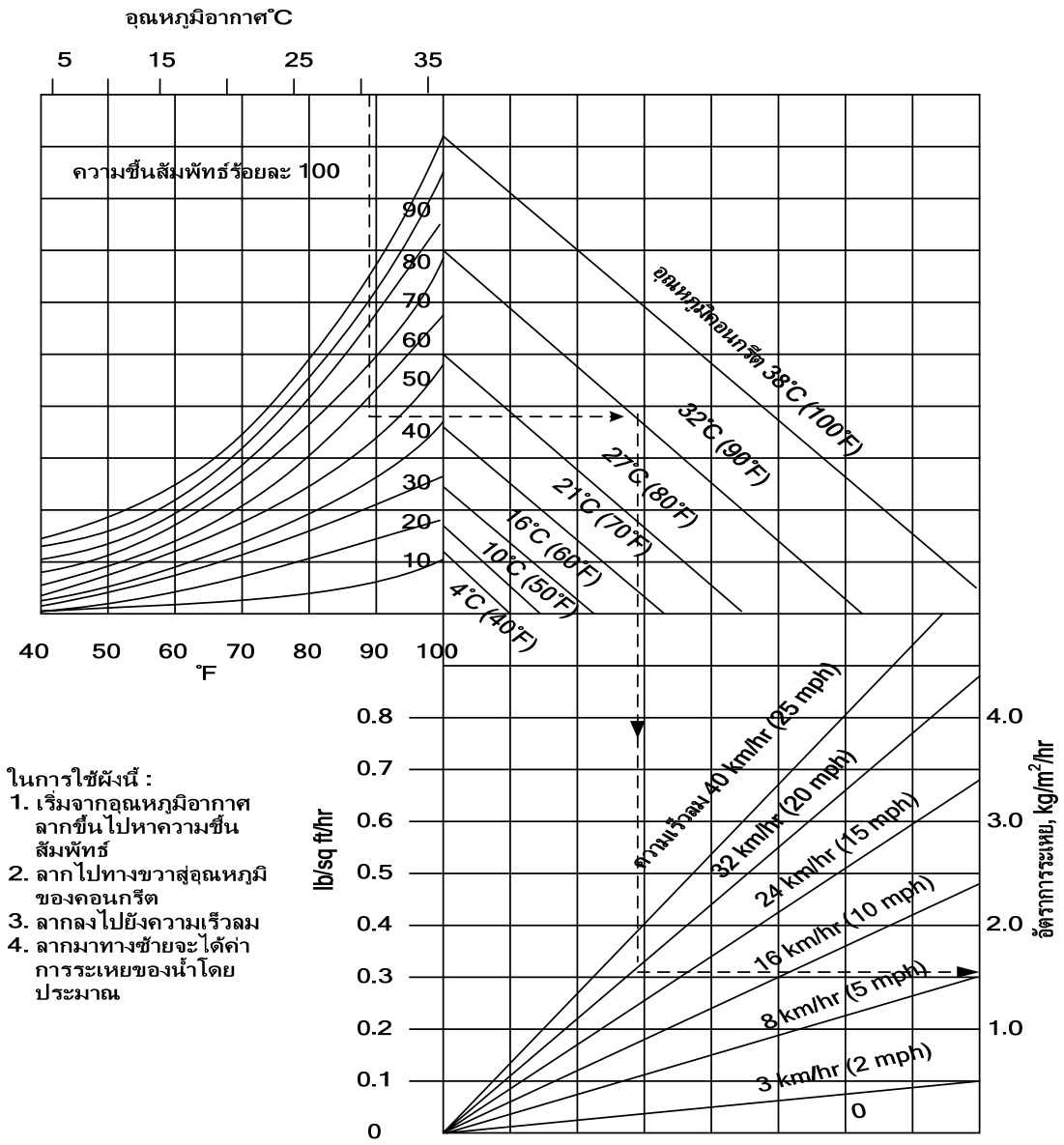
การใช้สารเคมีสำหรับการบ่ม ไม่ควรจะฉีดพ่นสารเคมีเหล่านั้นลงบนเหล็กเสริม หรือที่รอยต่อของการก่อสร้าง เป็นต้น เนื่องจากบริเวณดังกล่าวต้องการการยึดเกาะที่ดีกับคอนกรีตที่จะเทต่อไปภายหลัง

สารเคมีสำหรับบ่ม

ปริมาณความชื้นที่เพียงพอ

ปริมาณของน้ำที่ผสมในคอนกรีตโดยทั่วไปแล้วจะมีมากพอสำหรับการบ่ม อย่างไรก็ตาม การสูญเสียน้ำจากการระเหยมากเกินไปอาจลดปริมาณน้ำในคอนกรีตจนน้อยกว่าปริมาณน้ำที่จำเป็นสำหรับใช้พัฒนาคุณสมบัติที่ต้องการ ผลกระทบของการระเหยที่รวดเร็วควรได้รับการป้องกันด้วยการเพิ่มน้ำหรือป้องกันการระเหยที่มากเกินไป

ดังรูป ที่แสดงผลกระทบของอุณหภูมิอากาศอุณหภูมิคอนกรีตความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมต่ออัตราการระเหยที่ผิวหน้าคอนกรีตเมื่อปัจจัยเหล่านี้รวมกันจนส่งผลให้น้ำบางส่วนที่ผสมอยู่ในคอนกรีตระเหยมากเกินไปการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวอาจเกิดขึ้นกับคอนกรีตขณะอยู่ในสภาพพลาสติก *รูป* จะช่วยประเมินถึงผลดังกล่าวและแสดงให้เห็นระดับอัตราการระเหยเนื่องจากผลของสภาพแวดล้อมเหล่านี้ด้วยหากการป้องกันไม่ได้ผลโดยทำให้เกิดการระเหยที่มากเกินไปจะส่งผลให้เกิดการแตกร้าวจากการหดตัวแบบพลาสติกและสูญเสียกำลังของคอนกรีตที่ผิว



รูป ผลกระทบของคอนกรีตและอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมต่ออัตราการระเหยของความชื้นบนผิวคอนกรีต แผนภูมินี้แสดงภาพวิธีการประมาณการสูญเสียความชื้นที่ผิวในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน สำหรับการใช้แผนภูมินี้ให้ทำตาม 4 ขั้นตอนที่อยู่ข้างต้น เมื่ออัตราการระเหยของน้ำเกิน 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง (0.2 ปอนด์ต่อตารางฟุตต่อชั่วโมง) ต้องทำการป้องกันการสูญเสียความชื้นบริเวณผิวที่มากเกินไปของคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัว และเมื่ออัตราการระเหยของน้ำเกิน 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง (0.1 ปอนด์ต่อตารางฟุตต่อชั่วโมง) อาจต้องมีวิธีการเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำจากผิวหน้าคอนกรีต เพราะถ้าไม่ทำการป้องกันการสูญเสียความชื้นที่เกิดขึ้นคอนกรีตอาจเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบพลาสติกได้

คอนกรีตสด

คอนกรีตสด คือ คอนกรีตที่หลังจากผสมวัสดุต่างๆ เข้าด้วยกันแล้วอยู่ในสภาพเหลว และยังสามารถเทเข้าแบบได้ โดยยังไม่เกิดการเริ่มก่อตัว (STIFFENING TIME)

<u>คุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตสด</u>

1. ความสามารถเทได้ (WORKABILITY)

คือ ความสามารถในการที่จะเทคอนกรีตเข้าสู่แบบให้แน่น และไม่เกิดการแยกตัวของส่วนผสม

2. การยึดเกาะ (COHESION)

คือ การที่เนื้อคอนกรีตสามารถจับรวมตัวกันเป็นกลุ่ม หรือแยกออกจากกันได้ยาก

3. ความข้นเหลว (CONSISTENCY)

คือ สภาพความเหลวของคอนกรีต ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเป็นส่วนใหญ่โดยการทดสอบต่างๆ เช่น ค่ายุบตัว , การไหล เป็นต้น

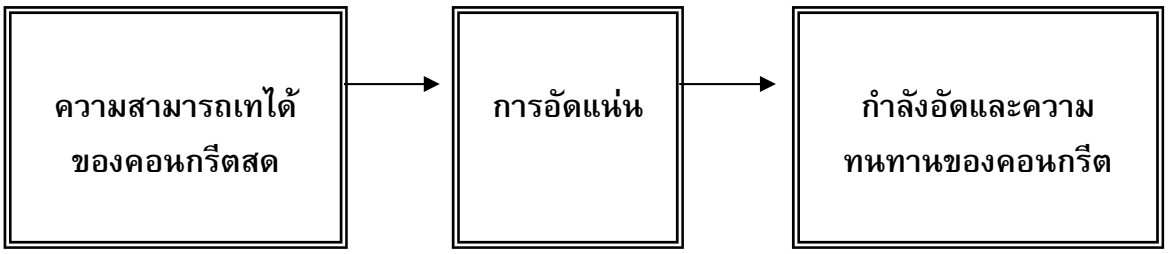
4. การแยกตัว (SEGREGATION)

คือ การแยกออกของส่วนประกอบต่างๆ ในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีเนื้อไม่สม่ำเสมอ

5. การเยิ้ม (BLEEDING)

คือ การแยกตัวชนิดหนึ่ง เป็นการแยกตัวในแนวดิ่งโดยที่วัสดุผสมที่หนักจะจมลงด้านล่างและวัสดุผสมที่เบาจะลอยขึ้นด้านบนสู่ผิวของคอนกรีต

<u>สรุป</u> คุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตสด จะส่งผลโดยตรงต่อกำลังและความทนทานของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว



เวลาการก่อตัว (SETTING TIME)

เริ่มผสม

↓

การเริ่มก่อตัว
STIFFENING TIME
(แรงต้านทาน 5 KSC.)

---------- เวลานี้คอนกรีตเริ่มแข็ง กระด้าง Slump ประมาณ 0

↓

การก่อตัวเริ่มต้น
INITIAL SETTIN
(แรงต้านทาน 35 KSC.)

---------- เวลานี้คอนกรีตเริ่มจะแข็ง กระด้าง แล้วถ้าเทคอนกรีตสดทับลงไปอีกจะก่อให้เกิด COLD JOINT

↓

การก่อตัวสุดท้าย
FINAL SETTINGTIME
(แรงต้านทาน 276 KSC.)

---------- เป็นเวลาที่คอนกรีตแข็งตัวสมบูรณ์

การทำงานเทคอนกรีต จะต้องให้เสร็จสิ้นก่อนเวลาการเริ่มก่อตัว (STIFFENING TIME) ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาด้านน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทยืดเวลาการก่อตัวได้ตั้งแต่ 2-8 ชั่วโมง

คุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ดี

คอนกรีตสดที่ดีจะต้องมีเนื้อสม่ำเสมอเหมือนกันทั้งเครื่องผสมมีความข้นเหลวเพียงพอที่จะทำให้มีความสามารถเทได้ตามลักษณะการใช้งาน ไม่เกิดการแยกตัวระหว่างการลำเลียง หรือขณะเทคอนกรีตไม่เกิดการเยิ้มมากเกินไป ซึ่งเป็นเหตุให้การแต่งผิวหน้าทำได้ไม่สะดวก และมีผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว

นอกจากนี้แล้วยังต้องมีเวลาในการก่อตัวนานพอที่สามารถทำงานได้โดยไม่เกิด COLD JOINT

การทดสอบความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสด

ด้วยวิธี Cone Slump Test

อุปกรณ์

วิธีทดสอบ

คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับ

1. กำลังของมอร์ต้าร์
2. กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม
3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้าร์กับผิวของมวลรวม

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

จากการทดสอบพบว่ากำลังอัดของคอนกรีตจะแปรผกผันกับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ นั่นคือกำลังอัดของคอนกรีตจะมากขึ้นถ้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์น้อยที่สุดและเหมาะสมประมาณ 0.30 (WC = 0.3) เนื่องจากปูนซีเมนต์ต้องใช้น้ำในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

2. ชนิดของปูนซีเมนต์

ขึ้นอยู่กับสารประกอบในปูนซีเมนต์และขนาดเม็ดปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่มีการบดละเอียดเม็ดเล็ก พื้นที่ผิวสัมผัสจะมาก ทำปฏิกิริยาได้เร็ว ทำให้สามารถรับกำลังอัดได้สูงในระยะเวลาเร็ว

3. คุณภาพของหิน - ทราย

หิน – ทราย ที่เหมาะสมในการทำคอนกรีต และให้กำลังอัดสูงมีลักษณะดังนี้

- มีความแข็งแรง
- ทนทานต่อแรงกระแทก และการสึกกร่อน
- คงทนต่อปฏิกิริยาเคมี
- มีรูปร่างเป็นแง่เหลี่ยมคม แต่ไม่เป็นแผ่นแบน หรือยาวเรียว
- มีความสะอาด

4. อัตราส่วนของหิน - ทราย

จากการทำ TRIAL MIXED พบว่าอัตราส่วนของ หิน–ทราย ที่ให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงและสามารถทำงานได้ (WORKABILITY) อยู่ในช่วง 0.4 – 0.5 (S/A)

กรณีที่ทรายมากเกินไปจะทำให้คอนกรีตมีลักษณะสีแดง ค่ารับกำลังอัดจะต่ำถึงแม้ว่าการทำงานจะง่ายก็จริง

กรณีที่หินมากเกินไป คอนกรีตที่ได้จะมีสีออกไปทางสีขาว ค่ารับกำลังอัดจะสูง แต่สภาพการทำงานหน้างานจะยาก เช่น การเทคอนกรีตที่มีลักษณะหน้าตัดคานแคบ หรืองานที่ใช้ SLUMP คอนกรีตอาจเกิดการแยกตัว (SEGREGATE) ได้ง่าย

5. น้ำยาผสมคอนกรีต

ขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำยาที่ใช้โดยทั่วไปแล้วน้ำยา TYPE D (PLASTICIZER) และน้ำยา TYP G (SUPER PLASTICIZER) จะส่งผลให้คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้สูงขึ้นที่ SLUMP เดียวกัน

6. อื่น ๆ

เช่น ลักษณะการทำงานของหน้างาน

- **การจี้เขย่าคอนกรีต** ต้องให้คอนกรีตมีความสม่ำเสมอแน่น ไม่เป็นโพรง ถ้าการจี้เขย่าคอนกรีตไม่ดีความสามารถรับกำลังอัดของคอนกรีตจะต่ำน้ำอาจรั่วซึมได้
- **การเติมน้ำที่หน้างาน** จะทำให้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์มากขึ้น ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลง ถึงแม้ว่าการทำงานจะง่ายขึ้นก็ตาม
- **รูปแบบการเทคอนกรีตลงแบบ**
- *การเทลงราง (CHUTE)* ควรปล่อยคอนกรีตให้ใกล้จุดที่ปลายของงานและปล่อยคอนกรีตให้ต่ำที่สุด ถ้าเป็นไปได้ควรเทตรงๆ ความสูงที่คอนกรีตจะตกจากปลายรางลงพื้นโดยไม่กระทบส่วนใดที่เป็นแบบและเหล็กเสริมยอมให้ในความสูง 1 - 2 ฟุต
- *(CRANE BUCKET)* ต้องระวังในเรื่องของคอนกรีตที่มี SLUM สูง เพราะน้ำปูนอาจจะรั่วไหลออกมาก่อนเปิดเท
- *PUMP* ถ้ายิงคอนกรีตด้วยอัตราที่เร็วส่งผลให้คอนกรีตเหลว เทเข้าแบบง่าย แต่กำลังอัดของคอนกรีตอาจตก โดยทั่วไปสำหรับปั๊มลาก (STATION PUMP) ยิงด้วยอัตราประมาณ 60 m^3/hr สำหรับปั๊มงวงช้าง (MOBILE PUMP OR PUMP BOOM) ยิงด้วยอัตราประมาณ 65 m^3/hr
- **การเตรียมแบบหล่อคอนกรีต** ถ้ามีรอยรั่วต้องทำการอุดรอยรั่วเพื่อกันไม่ให้น้ำปูนไหลซึมออกมาเพราะถ้าน้ำปูน (CEMENT PASTE) ไหลออกมามากเกินไปทำให้การยึดเหนี่ยวกันของมวลรวมไม่ดี ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลง

- การบ่มคอนกรีต การที่คอนกรีตแข็งตัวและสามารถรับกำลังได้นั้นเกิดจากการเกิดไฮเดรชั่นของซีเมนต์กับน้ำซึ่งจะยังคงทำปฏิกิริยาต่อไปเรื่อยๆ เป็นระยะเวลานาน การบ่มคอน-กรีต คือ การรักษาป้องกันมิให้น้ำที่จะใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นไม่ให้สูญเสียออกไปโดยการทำผิวหน้าคอนกรีตให้ชุ่มน้ำหรือพ่นด้วย CURING COMPOUND ถ้าบ่มคอนกรีตไม่ดีพอทำให้สูญเสียน้ำซึ่งส่วนใหญ่มักเกิดที่ผิวหน้าจะส่งผลให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงและหรืออาจเกิดการแตกร้าว (CRACK) ที่ผิวหน้าได้

คุณสมบัติด้านกำลังอื่น ๆ ของคอนกรีต

1. TENSILE STRENGTH.

ความต้านทานในด้านรับแรงดึงของคอนกรีตมีค่าต่ำมากประมาณ 10 % ของกำลังอัด ประลัยความต้านทานในการรับแรงดึงของคอนกรีตจะช่วยในการควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากผลกระทบต่างๆ เช่น อุณหภูมิ การหดตัว งานคอนกรีตอัดแรง งานก่อสร้างเก็บของเหลว เป็นต้น

2. BOND STRENGTH.

ความต้านทานต่อการลื่นไถลของเหล็กเสริมที่หล่ออยู่ภายในเนื้อคอนกรีตขึ้นอยู่กับชนิดของซีเมนต์ สารผสมเพิ่ม w/c ซึ่งมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของเพสต์ แรงยึดเหนี่ยวกับเหล็กเสริมในแนวนอนจะน้อยกว่าแนวตั้ง เพราะน้ำที่เกิดจากการเยิ้มอาจไปเกาะอยู่ใต้เหล็กเสริมตามแนวนอนได้ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจึงเกิดเป็นรูโพรงใต้เหล็กเสริมนั้น ทำให้ลดกำลังยึดเหนี่ยวลง

3. SHEAR STRENGTH.

4. IMPACT STRENGTH.

5. การต้านทานการเสียดสี

ขึ้นกับ

- w/c (กำลังอัด) สูงจะมีความต้านทานสูง
- Agg/C (มวลรวม/ซีเมนต์) สูงจะมีความต้านทานสูง
- ความต้านทานต่ำเมื่อใช้มวลรวมเบา
- ความต้านทานเพิ่มขึ้นถ้าเกิดการเยิ้มขึ้นเพียงเล็กน้อย
- ประการที่สำคัญที่สุด คือ การบ่มคอนกรีตอย่างถูกต้องและเพียงพอ

การเปลี่ยนรูป (DEFORMATION)

1. การหดตัว (SHRINKAGE)

คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีตเมื่อเกิดการสูญเสียน้ำหรือเกิดปฏิกิริยาเคมีของส่วนผสม

- PLASTIC SHRINKAGE

เกิดจากการจมตัวลงของส่วนที่เป็นของแข็งในส่วนผสมและการสูญเสียน้ำจากคอนกรีตสดจะเกิดก่อนซีเมนต์เพสต์แข็งตัว

โดยมีลักษณะแตกที่ผิวหน้าและจะลึกลงไปในเนื้อคอนกรีต จะเกิดในคอนกรีตที่เทเป็นบริเวณกว้าง เช่น พื้น ถนน

<u>การป้องกัน</u>

1. ควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ผสมให้ถูกต้องและบ่มคอนกรีตอย่างถูกต้องเพื่อลดการสูญเสียน้ำให้มากที่สุด
2. ปรับแก้อัตราส่วนความละเอียดที่มีในส่วนผสม
3. ไม่ควรทำการเขย่าซ้ำ (REVIBRATION)

- DRYING SHRINKAGE

เกิดจากการสูญเสียน้ำ จะเกิดในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

<u>การป้องกัน</u>

1. ลดปริมาณซีเมนต์ลง
2. ทำการบ่มให้เหมาะสมทั้งวิธีการและช่วงเวลา

- CARBONATION SHRINKAGE

เกิดจาก FREE TIME หรือคัลเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ $Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCo_3 + H_2O$ จากปฏิกิริยานี้ก่อให้เกิดการลดลงของปริมาตของเพสต์และเกิดการหดตัวเกิดในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

2. การเปลี่ยนรูปเนื่องจากความร้อน (THERMAL MOVEMENT)

คุณสมบัตินี้นำไปใช้ประโยชน์สำหรับการออกแบบงานฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ เขื่อน หรือคอนกรีตที่ต้องสัมผัสอุณหภูมิสูงมากหรือต่ำมาก

<u>ความทนทานของคอนกรีต (DURABILITY)</u>

ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลคือ ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำสู่คอนกรีต (PERMEABILITY)

ความสามารถซึมผ่านได้จะต่ำ สำหรับเพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่ w/c ต่ำกว่า 0.60 ซึ่งช่องทางไหลของน้ำ (CAPILLARY) จะถูกแบ่งหรือทำให้แยกออกไม่ต่อเนื่องกัน และยิ่งมีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างต่อเนื่อง ความสามารถซึมผ่านได้ก็จะลดลง

<u>การแตกร้าวของคอนกรีต</u>

ปัจจัยที่ให้เกิดการแตกร้าว

1. วัตถุดิบ และสัดส่วน การผสมคอนกรีต
2. การเทคอนกรีต (PLACING)
3. สภาพการทำงาน
4. การบ่ม
5. การยึดรั้งตัว

ลักษณะการแตกร้าวของคอนกรีต

การเทพื้นกับปัญหารอยแตกร้าว

การเทคอนกรีตในบ้านเราซึ่งมีสภาพอากาศร้อน มักพบปัญหาคอนกรีตแตกร้าวหลังจากเทคอนกรีตเสร็จแล้วอยู่เสมอ สาเหตุเกิดจากการระเหยน้ำอย่างรวดเร็วบริเวณผิวคอนกรีตในช่วงหลังเทคอนกรีตเสร็จ จนถึงช่วงคอนกรีตใกล้แข็งตัว ในขณะที่การเยิ้มของน้ำสู่ผิวคอนกรีตเกิดขึ้นช้ากว่าทำให้ผิวคอนกรีตแห้ง และหดตัวไม่สม่ำเสมอจนเกิดรอยแตกร้าวขึ้น เรียกว่า " **การแตกร้าวแบบพลาสติก** " โดยจะพบเห็นบ่อยในงานเทคอนกรีตโครงสร้างที่มีพื้นผิวกว้าง ได้แก่ ถนน พื้นอาคาร พื้นคอนกรีตอัดแรง (พื้นโพสเทนชั่น) และลานจอดรถ เป็นต้น

การป้องกันพื้นคอนกรีตแตกร้าว

การหลีกเลี่ยงการเทพื้นคอนกรีตในช่วงที่มีสภาพอากาศร้อนจัด จะช่วยป้องกัน ไม่ให้เกิดรอยแตกร้าวได้ แต่หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ควรปฏิบัติตามข้อแนะนำ เพื่อช่วยให้โอกาสการเกิดรอยแตกร้าวลดน้อยลงได้ ดังนี้

1. ควรฉีดน้ำแบบหล่อ พื้นรองถนน และเหล็กเสริม ล่วงหน้าก่อนการเทเพื่อลดความร้อนที่สะสมในแบบหล่อ พื้นรองถนน และเหล็กเสริม ระมัดระวังไม่ให้มีน้ำขังอยู่ในแบบก่อนเทคอนกรีต

2. วางแผนการทำงานให้รัดกุม ไม่ควรเทคอนกรีตแต่ละครั้งมากไปและหากแต่งผิวไม่ทันควรนำพลาสติกหรือกระสอบคลุมผิวหน้าไว้ก่อน เมื่อจะแต่งผิวหน้าให้เปิดวัสดุคลุมออกที่ละช่วงสั้นๆ

3. ไม่ควรใช้คอนกรีตที่เหลวมากเท ควรจี้เขย่าคอนกรีตให้ถูกต้องตามวิธีการ และ อย่าจี้เขย่าคอนกรีตมากเกินไปเพื่อป้องเนื้อคอนกรีตทรุดตัว ซึ่งเป็นเหตุให้คอนกรีตแตกร้าวได้

4. ขณะเทพื้นคอนกรีตหรือหลังเทเสร็จใหม่ๆ หากพบผิวคอนกรีตแตกร้าวและขณะนั้นคอนกรีตยังไม่แข็งตัว สามารถขัดแต่งผิวคอนกรีตซ้ำเพื่อปิดรอยแตกร้าวนั้นได้หลังจากนั้นให้บ่มคอนกรีตทันที

5. เมื่อแต่งผิวคอนกรีตเสร็จให้บ่มทันที ควรบ่มต่อเนื่องอย่างน้อย 7 วัน โดยเฉพาะงานพื้นชั้นดาดฟ้า งานพื้นโพสเทนชั่นและถนนคอนกรีต ควรบ่มด้วยน้ำ หรือใช้กระสอบเปียกคลุมผิวคอนกรีตตลอดเวลาจะช่วยลดการแตกร้าว และช่วยให้คอนกรีตสามารถพัฒนากำลังอัดได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

<u>จากรูป</u> การบ่มคอนกรีตด้วยการขังน้ำเป็นการบ่มที่ดี เหมาะสำหรับงานถนน พื้นอาคารทั่วไป ดาดฟ้า เป็นต้น โดยใช้ดินเหนียว หรือวัสดุอื่นทำเป็นคันรอบพื้น การบ่มควรให้น้ำขังตลอดเวลาจะช่วยลดการแตกร้าวและช่วยให้คอนกรีตพัฒนากำลังอัดได้ดีขึ้น

<u>จากรูป</u> การบ่มพื้นคอนกรีต ด้วยการคลุมแผ่นพลาสติก ควรบ่มผิวคอนกรีตให้ทั่วทั้งผืน ในขณะที่คอนกรีตยังเปียกให้เร็วที่สุดโดยไม่ทำให้ผิวเสียหายหรือเกิดรอย ควรคลุมผิวทั้งหมดและระวังแผ่นพลาสติกปลิวหรือฉีกขาดเนื่องจากลมพัด

<u>จากรูป</u> การบ่มพื้นคอนกรีตด้วยกระสอบเปียกคลุมผิวหน้าจะช่วยอุ้มน้ำไว้ที่ผิวควรให้กระสอบเปียกอยู่เสมอ หากกระสอบแห้งจะทำให้ดูดน้ำออกจากคอนกรีตได้ ไม่ควรใช้กระสอบที่ปนเปื้อนสารอันตรายต่อคอนกรีต เช่น น้ำตาล หรือปุ๋ย

ปัญหาพื้นคอนกรีตแตกร้าวภายหลังจากการเทคอนกรีตใหม่ ๆ

โดยทั่วไปโครงสร้างพื้นไม่ว่าจะเป็นพื้นคอนกรีตบนดิน ได้แก่ ถนนคอนกรีต ทางเดิน ที่จอดรถและพื้นคอนกรีตในอาคาร เป็นโครงสร้างที่มีพื้นที่ผิวกว้างสัมผัสกับอากาศมาก ทำให้น้ำหรือความชื้นในคอนกรีตสามารถระเหยจากผิวคอนกรีตได้ง่ายและรวดเร็วในช่วงหลังเทคอนกรีตใหม่ๆ จนถึงช่วงใกล้แข็งตัว หากไม่ป้องกันการระเหยอาจก่อให้เกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวไม่สม่ำเสมอและมีผลต่อกำลัง ความต้านทานการขัดสี

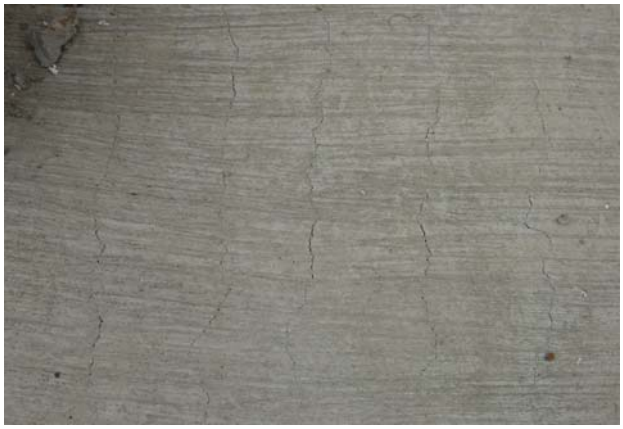
<u>จากรูป</u> ถนนคอนกรีตแตกร้าวเนื่องจากไม่บ่มคอนกรีตหรือบ่มช้า และเหล็กเสริม อาจวางอยู่ต่ำเกินไปทำให้ไม่ช่วยป้องกัน การแตกร้าวที่ผิวคอนกรีต

ปัจจัยเร่งที่ทำให้เกิดการแตกร้าวลักษณะนี้ขึ้นได้ง่าย คือ สภาพอากาศร้อน อากาศแห้งในหน้าหนาวและในที่มีลมพัดแรง ตัวอย่างเช่น ถ้าอุณหภูมิอากาศอยู่ที่ 38 องศาเซลเซียสการระเหยจะเร็วกว่าประมาณ 2 เท่าของอุณหภูมิอากาศที่ 30 องศาเซลเซียสและในกรณีที่มีแรงลม 15 กิโลเมตร / ชั่วโมง การระเหยน้ำจากคอนกรีตจะเพิ่มเป็น 4 เท่าของสภาวะลมนิ่ง เป็นต้น

<u>ข้อแนะนำ</u> *การเปลี่ยนเวลาเทพื้นคอนกรีต โดยเริ่มเทในช่วงบ่ายจะช่วยลดโอกาสการเกิดรอยแตกร้าวได้เนื่องจาก คอนกรีตสดที่เทในช่วงเช้าจะสะสมความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้นานกว่า คอนกรีตสดจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น การระเหยน้ำมีมากขึ้นด้วย ในขณะเดียวกัน คอนกรีตที่เทไปแล้วก็จะเริ่มเซ็ทตัว ซึ่งต้องใช้น้ำในการทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ ทำให้คอนกรีตที่เทเสร็จในช่วงเช้าจะสูญเสียน้ำ 2 ทาง จึงควรบ่มทันทีในช่วงบ่ายของวันเดียวกัน*

<u>จากรูป</u> พื้นคอนกรีตอัดแรง (พื้นโพสเทนชั่น) มักจะถูกออกแบบโดยไม่ใส่เหล็กเสริมกันร้าวจึงจะเกิดรอยแตกร้าวขึ้นได้ง่ายถ้าไม่บ่มคอนกรีตทันทีหลังเทเสร็จและหากไม่บ่มคอนกรีตอย่างต่อเนื่องรอยแตกร้าวจะยาวจนทะลุใต้ท้องพื้นได้

<u>จากรูป</u> การแตกร้าวตามพื้นในอาคารมักจะเกิดแตกร้าวบริเวณกลางพื้นเพราะเป็นตำแหน่งที่ไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว และหากเกิดรอยแตกร้าวที่ยาวมาก อาจทำให้พื้นทะลุได้



<u>จากรูป</u> รอยแตกร้าวบนผิวถนนคอนกรีตที่เกิดจากการใช้คอนกรีตที่มีความเหลวมากไป หรือมีการจี้เขย่าคอนกรีตขณะเทมากเกินไป ทำให้เนื้อคอนกรีตทรุดตัวและเกิดการเหนี่ยวรั้งกับเหล็กเสริม จึงมักพบรอยแตกร้าวตามแนวเหล็กเสริมที่ผิวคอนกรีต

การควบคุมคุณภาพคอนกรีต

วัตถุประสงค์ : ต้องการให้เกิดความมั่นใจว่าคอนกรีตที่ผลิตมีคุณภาพสูงตามมาตรฐานกำหนด

<u>การควบคุมคุณภาพคอนกรีต</u> แบ่งได้เป็น 5 ส่วน

1. การควบคุมวัตถุดิบ

- ปูนซีเมนต์
- หิน - ทราย
- น้ำ
- น้ำยาผสมคอนกรีตและสารผสมเพิ่ม

2. การออกแบบสัดส่วนการผสมคอนกรีต

- ศึกษาทบทวน ปรับปรุง ข้อกำหนดให้เหมาะสม
- พัฒนาและเลือกสัดส่วนผสม
- เสนอสัดส่วนผสมเพื่ออนุมัติใช้งาน

3. การควบคุม ณ โรงงานผลิต

- การตรวจสอบวัตถุดิบที่เข้าโรงงาน
- การกองเก็บวัตถุดิบ เช่น การแยกเก็บวัตถุดิบ การป้องกันการปะปนกันของวัตถุดิบ และสิ่งสกปรก
- ความถูกต้องในการชั่งตวงส่วนผสม เช่น ความถูกต้องของเครื่องชั่ง
- การปรับความชื้นของหิน - ทราย
- การบำรุงรักษาเครื่องผสมคอนกรีตและกระบวนการผลิต
- การควบคุมการจัดส่ง

4. การควบคุมคอนกรีต

- การสุ่มตัวอย่างคอนกรีตเพื่อทดสอบ
- การทดสอบคอนกรีตสด
- รายงานการปฏิบัติงาน ณ หน่วยงานก่อสร้าง
- รายงานของพนักงานจัดส่ง
- การจัดทำผลการทดสอบ

5. การบริการลูกค้า

- ตรวจสอบข้อร้องเรียนของลูกค้า
- วิเคราะห์ข้อผิดพลาด
- เสนอแนวทางแก้ปัญหาและป้องกัน
- ส่งข้อมูลส่งกลับไปให้ฝ่ายที่เกี่ยวข้องแก้ไข

<u>ค่ายอมรับสำหรับคุณภาพคอนกรีต</u>

1. กำลังอัด ประเมินตามมาตรฐาน ACI 318 หรือ ว.ส.ท.ดังนี้ ค่ากำลังอัดที่ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

1. ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดจากการทดสอบ 3 ครั้งติดต่อกัน > ค่ากำลังอัดที่กำหนด (fc')
2. ค่ากำลังอัดแต่ละครั้งต่ำกว่ากำลังอัดที่ต้องการ (fc') ได้ไม่เกิน 30 KSC.

2. กำลังอัดของก้อนตัวอย่างนี้ได้จากการเจาะตาม ACI ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดจะต้องได้ค่าไม่น้อยกว่า 85% ของกำลังอัดที่กำหนด (fc')
2. ค่ากำลังอัดของตัวอย่างแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 75% ของกำลังอัดที่กำหนด (fc')

<u>การปฏิบัติเมื่อคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน</u>

- ค่ากำลังอัดต่ำกว่าค่าที่ออกแบบ (fc')
  1. ข้อมูลต่ำนอกกลุ่มตัดทิ้ง
  2. กำลังอัดเฉลี่ยต่ำกว่าที่ออกแบบทดสอบตามลำดับ
- ยิงด้วย SCHMIDT HAMMER (หรือการทดสอบแบบ Non Destructive Test อื่นๆ)
- การเจาะคอนกรีตเพื่อทดสอบ (หรือการทดสอบแบบ Destructive Test อื่นๆ)
- การทดสอบให้โครงสร้างรับน้ำหนักจริง

อุปกรณ์ใช้ในการเจาะคอนกรีต

การทดสอบให้โครงสร้างรับน้ำหนักจริง

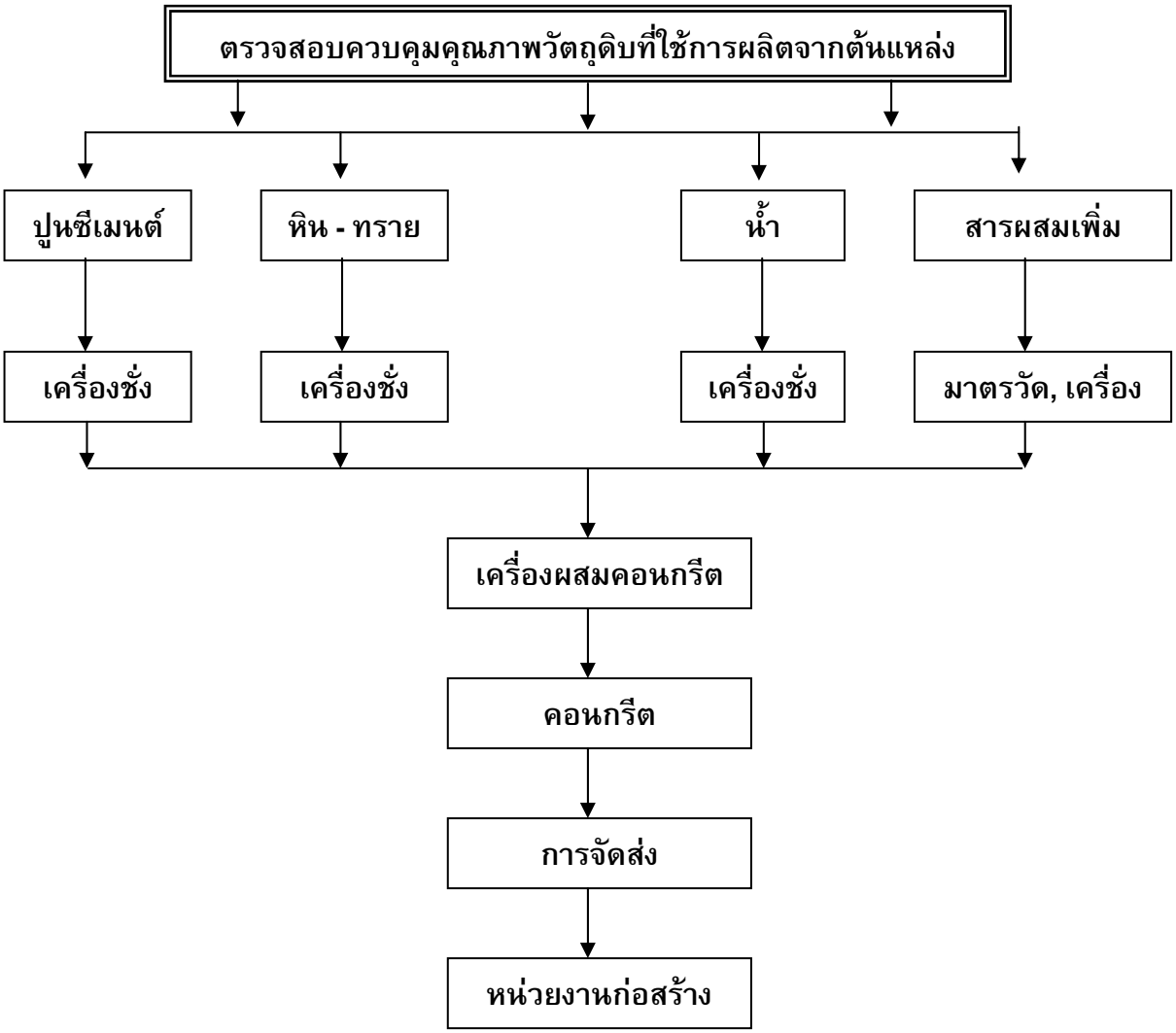
คอนกรีตที่ถูกเจาะโดยเครื่องเจาะคอนกรีต

ขบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ

ขบวนการผลิตเริ่มจาก การลำเลียง หิน - ทราย ปูนซีเมนต์ ผ่านเครื่องชั่งได้น้ำหนักถูกต้องตามสัดส่วนผสมที่ออกแบบไว้ ในขั้นตอนนี้จะต้องคำนึงถึงสภาพความชื้นของหิน -ทรายด้วย เพราะหิน - ทรายอาจไม่อยู่ในสภาพที่ออกแบบหรือสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ซึ่งจะต้องปรับน้ำหนักหิน - ทรายและน้ำให้ถูกต้อง ส่วนน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีตจะชั่งหรือตวงแล้วนำเข้าผสมกันในเครื่องผสมคอนกรีต ซึ่งจะผสมคอนกรีตตามเวลาที่กำหนด ด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ

คอนกรีตที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะถูกลำเลียงลงสู่รถผสมคอนกรีตเพื่อนำไปส่งยังหน่วยงานก่อสร้าง

แสดงขบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ



คอนกรีต ทีพีไอ

เปรียบเทียบมาตราชั่ง , ตวง , วัด / Weight & Measure Tables

ซม.	ม.	กม.	นิ้ว	ฟุต	หลา	ไมล์
1	0.01	0.00001	0.3937	0.03281	0.01094	$6.21x10^{-6}$
100	1	0.001	39.37	3.281	1.0936	$6.21x10^{-4}$
100,000	1,000	1	39,370.1	3,280.84	1,093.61	0.62137
2.54	0.0254	$2.54x10^{-5}$	1	0.0833	0.02778	$1.58x10^{-5}$
30.48	0.3048	$3.05x10^{-4}$	12	1	0.3333	$1.89x10^{-4}$
91.44	0.9144	$9.1x10^{-4}$	36	3	1	$5.68x10^{-4}$
$1.61x10^{5}$	1,609	1.60934	63,360	5,280	1,760	1
กรัม	**กิโลกรัม**	**เมตริกตัน**	**ออนซ์**	**ปอนด์**	**ฌอทตัน**	**ลองตัน**
1	0.001	$1x10^{-6}$	0.03527	0.00220	$1.10x10^{-6}$	$9.84x10^{-7}$
1,000	1	0.001	35.27	2,205	0.00110	$9.84x10^{-4}$
$1x10^{6}$	1,000	1	$3.53x10^{4}$	2,205	1.102	0.9842
28.35	0.02835	$2.83x10^{-5}$	1	0.0625	$3.12x10^{-5}$	$2.79x10^{-5}$
453.6	0.4536	$4.54x10^{-4}$	16	1	0.005	$4.46x10^{-4}$
$9.07x10^{5}$	907.2	0.9072	$3.20x10^{4}$	2,000	1	0.8929
$1.02x10^{6}$	1,016	1.016	$3.58x10^{4}$	2,240	1.12	1
ลบ.ซม.	**ลิตร**	**ลบ.นิ้ว**	**ออนซ์**	**ควอท**	**แกลลอน**	**บาเรล**
1	0.001	0.06102	0.03381	0.00106	$2.64x10^{-4}$	$6.29x10^{-6}$
1,000	1	61.02	33.81	1.057	0.2642	0.00629
16.39	0.01639	1	0.5541	0.01732	0.00433	$1.03x10^{-4}$
29.57	0.02957	1.805	1	0.03125	0.00781	$1.86x10^{-4}$
946.4	0.9464	57.75	32	1	0.2500	0.00595
3,785	3.785	231.0	128	4	1	0.02381
$1.59x10^{5}$	159.0	9,702	5,376	168	42	1
ตร.ซม.	**ตร.ม.**	**ตร.กม.**	**ตร.นิ้ว**	**ตร.ฟุต**	**ตร.หลา**	**ตร.ไมล์**
1	0.0001	$1x10^{-10}$	0.155	0.00108	0.000120	$3.86x10^{-11}$
$1x10^{4}$	1	$1x10^{-6}$	1,550	10.76	1.196	$3.86x10^{-7}$
$1x10^{10}$	$1x10^{6}$	1	$1.55x10^{9}$	$1.08x10^{7}$	$1.196x10^{6}$	0.3861
6.452	$6.45x10^{-4}$	$6.45x10^{-10}$	1	0.00694	$7.71x10^{-4}$	$2.49x10^{-10}$
929.0	0.09290	$9.29x10^{-8}$	144	1	0.1111	$3.57x10^{-8}$
8,361.27	0.8361	$8.36x10^{-7}$	1,296	9	1	$3.23x10^{-7}$
$2.59x10^{10}$	$2.59x10^{6}$	2.590	$4.01x10^{9}$	$2.79x10^{7}$	$3.098x10^{6}$	1

เอเคอร์ = 4,047 ตร.ม. = 43,560 ตร.ฟุต = 0.00156 ตร.ไมล์ = 2,529 ไร่

Weight & Measures

น้ำหนักและหน่วยวัด

APOTHCARIES WEIGHT
20 grains……1 sculpe
3 scuples……1 dram
8 drams……1 ounce
12 ounces……1 pound
Ounce and pound are the same as inTroy Weight

AVOIRDUPOIS WEIGHT
27/11/32 grains……1 dram
16 drams……1 ounces
16 ounces……1 pound
25 pounds……1 quarter
4 quarters…… 1 cwt
2,000 pounds……1 short ton
2,240 pounds……1 long ton

TROY WEIGHT
24 grains……1 pwt
20 pwt……1 ounce
12 ounces……1 pound
Used for weighing glod silver and Jeweis

SQUARE MEASURE
114 square inches……1 square foot
9 square feet……1 square yard
30 ¼ square yards……1 square rod
40 square rods……1 rood
4 roods……1 acre
640 acres……1 square mile

CUBLE MEASURE
1.728 cubic inches……1 cubic foot
27 cubic feet……1 cubic yard
128 cubic feet……1 cord(wood)
40 cubic feet……1 ton(shipping)
2,150.42 cubic inches……1 standard bu
231 cubic inches……1 u.s standard gal
1 cubic foot……1 about 4/5 of a bushel

DRY MEASURE
2 pints……1 quart
8 quarts……1 peck
4 pecks……1 bushel
36 bushels……1 chaldron

LIQUID MEASURE
4 gills……1 pint
2 pint……1 quart
4 quarts……1 gallon
31 ½ gallons……1 barrel
2 barrels……1 hogshead

LONG MEASURE
12 inches……1 foot
3 foot……1 yard
5 ½ yards……1 rod
40 rods……1 furlong
8 furlongs……1 statute mile
3 miles……1 league

CLOTH MEASURE
2 ¼ inches……1 nial
4 nials……1 quarter
4 quarters……1 yard

MARINES MEASURE
6 feet……1 fathom
120 fathoms……1 cable length
7 ½ cable lengths……1 mile
5,280.2 feet……1 statute mile
6,080.2 feet……1 nautical mile

SURVEYORS MEASURE
7.92 inches……1 link
25 links……1 rod
4 rods……1 chain
10 square chains or……1 acre
160 square rods
640 acres……1 township

TIME MEASURE
60 seconds……1 minute
60 minutes……1 hour
24 hours……1 day
7 days……1 week
28,29,30 or 13 days……1 cal.month
30 days……1 month in Comp.interest
365 days……1 years,366 days I leap year

MISCELLANEOUS
3 inches……1 palm
4 inches……1 hand
6 inches……1 span
18 inches……1 cubit
21.8 inches……1 Bible cubit
21/2 feet……1 military pace

ANGULAR MEASURE
60 seconds……1 minute
60 minutes……1 degree
30 degrees……1 sign
90 degrees……1 quadrant
4 quadrants,or 360 degree,……1 circumference
orgreat circle the earth rotates at a velocity
of 15 degrees on hour (about 17.366 miles
at minute a the Equator) : I degree is
therefore equal to 4 minutes.

CIRCULAR MEASURE
Diameter of a Circle x 3.1416 gives
Ciricumference
Diameler Squared x .7854 gives Ares
of Cicle
Diameter Squared x 3.1416 gives
Surface of Spheres.
Diameter Cubed x .5236 gives
Solidity of Sphers.
On Degree of Circumference x 57.3
give Redius.
Diameter of Cylinder x 3.1416 and
product by its length, gives Surface.
Diameter Squared +.7854 and product
by the length, gives Solid Contents.
A Circular Acre is 235.504 feet. a
Circular Rood 117.752 feet in diameter.
The Circumference of Globe is about
24,855 miles, and the Diameter about
7,900 miles.

DIMENSIONS OF THE WORLD
Equatorial Diameter……7,926.68 miles
Polar Diameter……7,899.99 miles
Difference…… ..26.69 miles
Mean Diameter……7,918.00 miles
Equatoril Circumference……24,902.37 miles
Meridional Circumference……24,860.44 miles
Difference……41.93 miles
Area of Surface……196,950,284 square miles
Water Area……139,950,284 square miles
Land Area……57,000,000 square miles
Volume of Land……29,300,000 cubic miles
Volume of Water……320,000,000 cubic miles

AREAS AND DEPTHS OF THE OCEANS

Oceans Area (Square Miles)		Greatest Dept (feet)
Pacific	68,634,000	30,000
Atlantic	41,321,000	27,366
Indian	29,340,000	18,582
Antarctic	7,500,000	25,200
Arctic	4,000,000	9,000

THE METRIC SYSTEM

LINEAR MEASURE
10 millimetres……1 centimetre
10 centimetres……1 decimetre
10 decimetres……1 metre
10 metres……1 decametre
10 decametres……1 hectometre
10 hectometres……1 kilometre

SQUARE MEASURE
100 sq.millimetres……1 sp.centimetre
100 sq.centimetres……1 sq.decimtre
100 sq.decimetres……1 sq.metre
100 sq.metres……1 sq.decametre
100 sq.decametres……1 sq.hectometre
100 sq.hectometres……1 kilometre

CUBIC MEASURE
1000 cu.millimetres……1 cu.centimetre
1000 cu.centimetres……1 cu.decimetre
1000 cu. decimetres……1 cu.metre

LIQUID MEASURE
10 millimetres……1 centilitre
10 centilitres…… 1 declitre
10 decititres……1 litre
10 litres……1 decalite
10 decalites……1 hectolitre
10 hectolitres……1 kilolitre

WEIGHTS
10 milligrams……1 centigram
10 centigrams……1 decigram
10 decigrams……1 gram
10 grams……1 decagrams
10 hectograms……1 kilogram
100 kilograms……1 quintal
10 quintals……1 ton

INTERNATIONAL PAPER SIZES
A series is based on AO (841x1189 mm.) which is the equivalent of a square metre in area and each smilre size. A1,A2 etc, is equal to half the area of the preceding large size.

	millimetres	inches
2A	1189x1682	46.81x 3.22
A0	841x1189	33.11 x 46.11
A1	594x 841	23.39 x 33.11
A2	420x594	16.54 x 23.39
A3	297x420	11.69 x 6.54
A4	210x179	8.27 x 11.69
A5	148x210	5.83 x 8.27
A6	105x148	4.13 x 5.83
A7	74x105	2.91 x 4.13
A8	52x74	2.05 x 2.91
A9	37x52	1.46 x 2.05
A10	26x37	1.02 x 1.46

C series if for envelopes of folders suitable for enclosing stationery in the A size

	millimetres	inches
C3	324 x 458	12.76 x 18.03
C4	229 x 324	9.02 x 12.76
C5	162 x 229	6.38 x 9.02
C6	114 x 162	4.49 x 6.38
C7	81 x 114	3.19 x 4.49
D7	110 x 220	4.33 x 8.66

Metric Conversion Tables ตารางเปลี่ยนระบบเมตริก

LINEAR / ระยะทาง		
Inches.		Centimetres
นิ้ว		เซนติเมตร
.393700	1	2.54000
.787402	2	5.08000
1.181102	3	7.62000
1.574803	4	10.16000
1.968504	5	12.70000
2.362205	6	15.24000
2.755906	7	17.78000
3.149606	8	20.32000
3.543307	9	22.86000
Feet		Metres
ฟุต		เมตร
3.280840	1	.3048
6.561680	2	.6096
9.842520	3	.9144
13.123359	4	1.2192
16.404199	5	1.5240
19.685038	6	1.8288
22.965878	7	2.136
26.246718	8	2.4384
29.527558	9	2.7432
Yards		Metres
หลา		เมตร
1.093613	1	.91440
2.187226	2	1.82880
3.280839	3	2.74320
4.374452	4	3.65760
5.468065	5	4.57200
6.561678	6	5.48640
7.655291	7	6.40080
8.748904	8	7.31520
9.842517	9	8.22960
Miles		Kilometres
ไมล์		กิโลเมตร
.621371	1	1.60934
1.242742	2	3.21869
1.864113	3	4.82803
2.485484	4	6.43738
3.106855	5	8.04672
3.728226	6	9.65606
4.349597	7	11.26541
4.970968	8	12.87475
5.592339	9	14.48410

POWER / กำลัง		
Horsepower		Kilowatts
แรงม้า		กิโลวัตต์
1.341022	1	.7457
2.68244	2	1.4914
4.023066	3	2.2371
5.364088	4	2.9828
6.705110	5	3.7285
8.046132	6	4.4742
9.387154	7	5.2199
10.728176	8	5.9656
12.069198	9	6.7113

AREA /พื้นที่		
Sq.Inches.		Sq.Centimetres
ตร.นิ้ว		ตร.เซนติเมตร
.1500	1	6.45160
.3100	2	12.90320
.46500	3	19.35480
.62000	4	25.80640
.77500	5	32.25800
.93000	6	38.70960
1.08500	7	45.16120
1.24000	8	51.61280
1.39500	9	58.06440
Sq.Feet		Sq.Metres
ตร.ฟุต		ตร.เมตร
10.76391	1	.09290
21.52782	2	.18580
32.29173	3	.27870
43.05564	4	.37160
53.81955	5	.46450
64.58346	6	.55740
75.34737	7	.65030
86.11128	8	.74320
96.87519	9	.83610
Sq.Yards		Sq.Metres
ตร.หลา		ตร.เมตร
1.19599	1	.83613
2.39198	2	1.67226
3.58797	3	2.50839
4.78396	4	3.34453
5.97995	5	4.18065
7.17594	6	5.01678
8.37193	7	5.85291
9.56792	8	6.68904
10.76391	9	7.52517
Acres		Hectares
เอเคอร์		เฮคตาร์
2.47105	1	.40469
4.94210	2	.80938
7.41315	3	1.21407
9.88420	4	1.61876
12.35525	5	2.02345
14.82630	6	2.42814
17.29735	7	2.83283
19.76840	8	3.23752
22.23945	9	3.64221
Sq.Miles		Sq.Kilometres
.38610	1	2.58999
.77220	2	5.17998
1.15830	3	7.76997
1.54440	4	10.35996
1.93050	5	12.94995
2.31660	6	15.53994
2.70270	7	18.12993
3.08880	8	20.71992
3.47490	9	23.30991

VOLUME / ปริมาตร		
Cu.Inches		Cu.Centimetres
ลบ.นิ้ว		ตร.เซนติเมตร
.061024	1	16.38706
.122048	2	32.77413
.183072	3	49.16119
.244096	4	65.54826
.305120	5	81.93532
.366144	6	98.32238
.427168	7	114.70945
.488192	8	131.09651
.549216	9	147.49358
Cu.Feet		Cu.Metres
ลบ.ฟุต		ลบ.เมตร
35.31467	1	.02832
70.62934	2	.05664
105.94401	3	.08496
141.25868	4	.11328
176.57335	5	.14160
211.88802	6	.16992
247.20269	7	.19824
282.51736	8	.222656
317.83203	9	.25488
Cu.Yards		Cu.Metres
ลบ.หลา		ลบ.เมตร
1.30795	1	.76455
2.61590	2	1.52910
3.92385	3	2.29365
5.23180	4	3.05820
6.53975	5	3.82275
7.84770	6	4.58730
9.15565	7	5.35185
10.46360	8	6.11640
11.77155	9	6.88095

CAPACITY / ความจุ		
Pints		Litres
ไปนท์		ลิตร
1.75976	1	.56826
3.51952	2	1.13652
5.27928	3	1.70478
7.03904	4	2.27305
8.79880	5	2.84131
10.55856	6	3.40957
12.31832	7	3.97783
14.07808	8	4.54609
15.83784	9	5.11435
Quarts		Litres
ควอทซ์		ลิตร
.87988	1	1.13652
1.75976	2	2.27304
2.63964	3	3.40956
3.51952	4	4.54608
4.39940	5	5.68260
5.27928	6	6.81912
6.15916	7	7.95564
7.03904	8	9.09216
7.91892	9	10.22868

CAPACITY / ความจุ		
Gallons		Litres
แกลลอน		ลิตร
.21997	1	4.54609
.43994	2	9.09218
.65991	3	13.63827
.87988	4	18.18436
1.09985	5	22.73045
1.31982	6	27.27654
1.53979	7	31.82263
1.75976	8	36.36872
1.97973	9	40.91481

MASS / มวล		
Ounces		Grams
ออนซ์		กรัม
.035274	1	28.349523
.070548	2	56.699046
.105812	3	85.048569
.141096	4	113.398092
.176370	5	141.747615
.211644	6	170.097138
.246918	7	198.446661
.282192	8	226.796184
.317466	9	255.145707
Pounds		Kilograms
ปอนด์		กิโลกรัม
2.204622	1	.453592
4.409244	2	.907184
6.613866	3	1.360776
8.818488	4	1.814368
11.023110	5	2.267960
13.227732	6	2.721552
15.4322354	7	3.175144
17.636976	8	3.628736
19.841598	9	4.082328
Cwt		Kilograms
		กิโลกรัม
.019684	1	50.80234
.039368	2	101.60469
.059052	3	152.40704
.079836	4	203.20938
.098420	5	254.01173
.118104	6	304.81408
.137788	7	355.61642
.157472	8	406.41977
.177156	9	457.22112
Tons		Kilograms
ตัน		กิโลกรัม
.000984	1	1016.0469
.001968	2	2032.0938
.002952	3	3048.1407
.003936	4	4064.1876
.004920	5	5080.2345
.005904	6	6096.2814
.006888	7	7112.3283

คอนกรีต ทีทีโอ

CONVERSION FORMULAE

การเปลี่ยนหน่วย

Velocity

To convert *Multiply by*

miles per hour into

Kilometres per hour……1.609344

feet per second into

metres per second……0.3048

feet per second into

centimetres per second……30.48

Power

To convert *Multiply by*

horsepower into kilowatts……0.7457

horsepower into metric horsepower…1.01387

foot pound-force per second

into kilowatts……0.001356

Force

To convert *Multiply by*

pounds force into newtons……4.44822

poundals into newtons……0.138255

Metric to non-Metric

Linear

To cinvert *Multiply by*

millimetres into feet……3.281×10^{-3}

millimetres into inches……0.03937

centimetres into inches……0.3937

metres into feet……3.281

metres into yards……1.09361

kilometres into yards……1093.61

Kilometres into miles……0.62137

Area

To convert *Multiply by*

sq.milimetres into sq.inches……1.550×10^{-3}

sq.centimetres into sq.inches……0.1550

sq.metres into sq.feet……10.7639

sq.metres into sq.yards……1.19599

sq.metres into acres……2.47105×10^{-4}

sq.kilometres into sq.miles……0.3861

sq.kilometres into acres……247.105

hectares into acers……2.47105

Non-Metric to Metric

Linear

To convert *Multiply by*

inches into centimetres……2.540

inches into metres……2540×10^{-2}

inches into millimetres……25.4

feet into metres……0.3048

yards into metres……0.9144

miles into kilometres……1.609344

miles into metres……1609.344

feet into centimetres……30.48

Area

To convert *Multiply by*

sq.inches into sq.centimetres……6.4516

sq.feet into sq.centimetres……929.03

sq.feet into sq.metres……0.092903

sq.yards into sq.metres……0.8361

sq.miles into sq.kilometres……2.58999

sq.miles into hectares……258.999

acres into sq.metres……4046.856

acres into hectares……0.40469

Volume & Capacity

To convert *Multiply by*

cu.inches into cu.centimetres……16.3871

cu.inches into litres……0.016387

cu.feet into cu.metres……0.028317

cu.feet into litres……28.32

pints into litres……0.56826

quarts into litres……1.13652

cu.yards into cu.metres……0.7646

UK gallon into litres……4.54609

US gallon into litres……3.7854

Mass

To convert *Multiply by*

ounces into grams……28.3495

pounds into grams……453.6

pounds into kilograms……0.4536

ton into kilograms……1016.047

tahils into grams……37.799

kati into kilograms……0.60479

grains into grams……0.0648

Volume & Capacity

To convert *Multiply by*

cu.centimeters into cu.inches……0.06102

cu.metres into cu.feet……35.3147

cu.metres into cu.yards……1.30795

litres into cu.inches……61.03

litres into pints……1.7598

litres into quarts……0.8799

litres into UK gallons……0.219976

litres into US gallons……0.264178

Mass

To convert *Multiply by*

grams into ounces……0.03527

grams into grains……15.4324

grams into tahil……0.02646

kilograms into pounds……2.2046

kilograms into tons……0.0009842

kilograms into katis……1.653

kilograms into stones……0.1575

kilograms into hundredweights……0.01968

Velocity

To convert *Multiply by*

centimetres per second into

feet per second……0.03281

metres per second into

feet per minute……196.9

metres per second into

feet per second……3.281

kilometres per hour into

miles per hour……0.6214

Power

To convert *Multiply by*

kilowatts into horsepower…… ……1.341

metric horsepower into horsepower……0.98632

metric horsepower into

foot pounds-force per second……542.48

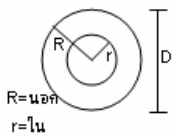
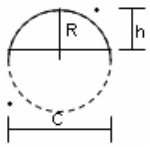
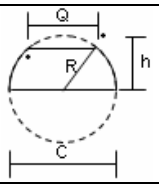
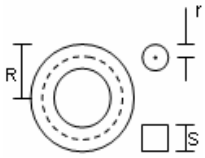
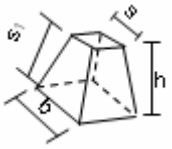
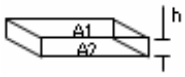
Force

To convert *Multiply by*

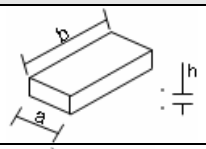
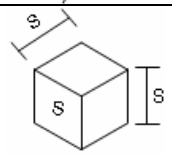
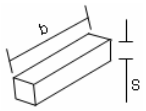
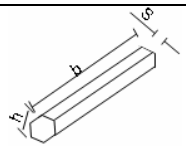
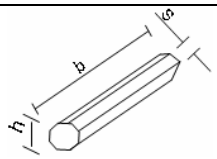
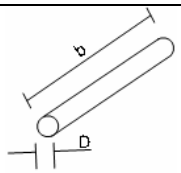
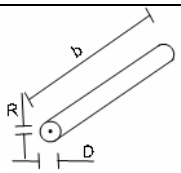
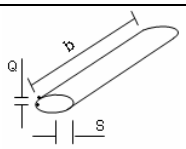
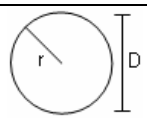
newtons into pound force……0.2248

newtons into poundals……7.2330

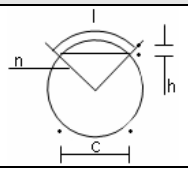
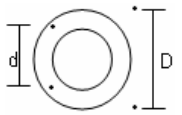
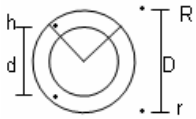
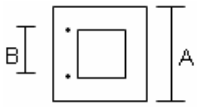
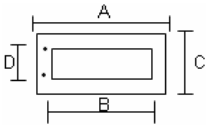
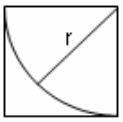
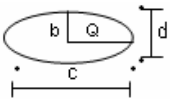
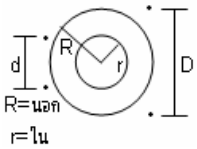
ปริมาตรและเนื้อที่พื้น (VOLUME AND SURFACE AREA)

ชื่อ	รูป	ปริมาตร	เนื้อที่ผิวพื้นทั้งหมด
ลูกกลมกลวง HOLLOW SPHERE		$\frac{4}{3}\pi(R^3 - r^3)$	พื้นที่ผิวภายนอก $= 4\ \pi R^2$
เสี้ยวลูกกลม SEGMENT SPHERE		$\frac{1}{3}\pi h^2(3r - h)$ หรือ $\frac{1}{24}\pi h(3C^2 + 4h^2)$	พื้นโค้ง $2\ \pi Rh$ หรือ $\frac{1}{3}\pi(4h^2 + C^2)$
SPHERICAL ZONE		$\frac{1}{24}\pi b(3a^2 + 3c^2 + 4b^2)$	พื้นผิวด้านข้าง $= 2\ \pi\ rb$
พวงมาลัย ANCHOR RING		หน้าตัดกลม $= 2\pi^2 Rr^2$ หน้าตัดจตุรัส $= 2\pi RS^2$	พื้นที่ผิวทั้งหมด หน้าตัดกลม $= 4\pi^2 Rr$ หน้าตัดจตุรัส $= 8\pi RS$
SQUARE PYRAMID		$\frac{1}{3}$ X พ.ท.ฐาน x h	พ.ท.ผิว = เส้นรอบ รูปฐาน x $\frac{1}{2}$ ความสูง ด้านเอียง
FRUSTUM OF SQUARE PYRAMID		$\frac{h}{3}(b^2 + s^2 + bs_1)$	พ.ท.ผิวทั้งหมด = $[2s_1(b+s)]$ $+ [(s^2) + (b^2)]$
FRUSTUM		$\frac{1}{3}h\ (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2})$	พ.ท.ผิวด้านข้าง = $\frac{1}{2}$ ผลบวกของเส้นรอบรูป ฐานบนและล่าง x ส่วนสูง ที่เอียงลาด

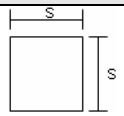
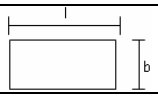
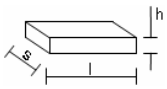
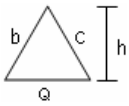
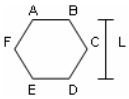
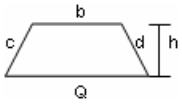
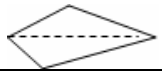
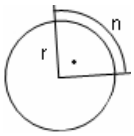
ปริมาตรและเนื้อที่พื้น (VOLUME AND SURFACE AREA)

ชื่อ	รูป	ปริมาตร	เนื้อที่ผิวพื้นทั้งหมด
แท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า RECTANGULAR		เนื้อที่ฐาน x สูง a x b x h	พื้นที่ผิวทั้งหมด AREA = 2(ab+bh+ah)
แท่งลูกบาศก์ CUBE		ด้านใดด้านหนึ่งกำลัง 3 $(S)^3$	เนื้อที่ทั้งหมด $= 6S^2$
แท่งลูกบาศก์ยาว SQUARE PRISM		S^2 x b	พื้นผิวด้านข้าง = 4sb หัวท้าย = $2S^2$
แท่งหกเหลี่ยม HEXAGONAL PRISM		1.6 S^2b หรือ .866 h^2b	พื้นด้านข้าง = 6sb หัวท้าย = 2.6 S^2
แท่งแปดเหลี่ยม		4.83 S^2b หรือ .829 h^2b	พื้นผิวด้านข้าง = 8 sb หรือ 3.32 hb
ทรงกระบอก CYLINDER		πr^2b หรือ .7854 D^2b	พื้นผิวหน้าตัดหัวท้าย = $2\pi r^2$ พื้นผิวด้านข้าง = $2\pi rb$
ทรงกระบอกกลวง HOLLOW CYLINDER		$\pi (R^2 - r^2)b$	พื้นผิวภายนอก = $2\pi Rb$ ภายใน = $2\pi rb$
แท่งรูปไข่ ELLIPTICAL PRISM		π abs	พื้นผิวข้าง = $2\pi b\sqrt{\frac{a^2+s^2}{3}}$ หน้าตัดหัวท้าย = π as
ลูกกลม SPHERE		$\frac{4}{3}\pi R^3, \frac{\pi}{6}D^3,$ .5236 D^3	พื้นผิวทั้งหมด $= 4\pi R^2$

พื้นที่และเส้นรอบรูป (AREA AND CIRCUMGERENCE)

ชื่อ	รูป	พื้นที่	เส้นรอบรูป
SEGMENT OF CIRCLE ส่วนเฉือนจากผิววงกลม		$\frac{lr - c(r-h)}{2}$	$l = \pi r n^{\circ}$ $= .01745 r n^{\circ}$
RING วงแหวน		$\frac{\pi}{4}(D^2 - d)^2$	$2\pi r$
QUARTER OF RING 1/4 วงแหวน		$\frac{n^{\circ}}{360^{\circ}}\pi(R^2 - r^2)$	
HOLLOW SQUARE □ กลวง		$A^2 - B^2$	
HOLLOW RECTANGLE □ ผืนผ้ากลวง		(A x C) – (B x D)	
FILLET มุมนอกเสี้ยววงกลม		$0.215r^2, \frac{1}{5}r^2$	
ELLIPE วงรี		$\pi a x b$ or $c x d x 0.7854$	$2\pi\sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}}$
ECCENTRIC RING วงแหวนเยื้อง		$.7854(D^2 - d^2)$ $\pi x (R^2 - r^2)$	

พื้นที่และเส้นรอบรูป (AREA AND CIRCUMGERENCE)

ชื่อ	รูป	พื้นที่	เส้นรอบรูป
SQUARE ☐ จัตุรัส		$S^2, \frac{d^2}{2}$	4 S
RECTANGLE ☐ ผืนผ้า		lb	2 (l + b)
RHOMBOID ☐ ด้านขนาน		$\frac{1}{2}$ (l + l) h	2 (l + s)
TRIANGLE สามเหลี่ยม		$\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$ or $\frac{1}{2} x a x h$ $S = \frac{1}{2}(a+b+c)$	a + b + c
HEXAGON 6 เหลี่ยมด้านเท่า		2.598150 S^2 0.866 L^2	6 S
TRAPEZOID ☐ คางหมู		$\frac{h(a+b)}{2}$	a + b + c + d
NON-PARALLELOGRAM ☐ ด้านไม่ขนาน		SUM OF TRIANGLE	SUM OF 4 SIDES
CIRCULAR วงกลม		πr^2 or $\pi r^2 \frac{\pi d^2}{4} = .7854\ d^2$	πd, $2\pi r$ d = 31831 C
SECTOR OF CIRCULAR		$\frac{\pi r^2\ n^0}{360}$, lr, $0.0087266\ r^2 n^0$	$l = \frac{rn^0}{57.3}$

เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง

รูปตัด SECTION	ชนิดเสาเข็ม TYPE OF PILE (M. X M.)	เส้นรอบรูป PERIMETER (CM.)	พื้นที่หน้าตัด SECTIONAL AREA (CM.^{2})	น้ำหนัก UNIT WEIGHT (KG./M.)	ความยาวสูงสุด MAX. LENGTH (M)	น้ำหนักปลอดภัย SAFELOAD* (TONS)
□	0.18 X 0.18	72	324	78	14	15-25
□	0.22 X 0.22	88	484	116	21	25-30
□	0.25 X 0.25	100	625	150	22	30-40
□	0.30 X 0.30	120	900	216	24	40-50
□	0.35 X 0.35	140	1225	294	25	50-60
□	0.40 X 0.40	160	1600	384	25	60-80
□	0.45 X 0.45	180	2025	486	28	80-120
□	0.525 X 0.525	210	2756	662	28	100 UP

** Safe load depends on soil condition น้ำหนักปลอดภัยขึ้นอยู่กับสภาพดินของแต่ละพื้นที่*

รูปตัด SECTION	ชนิดเสาเข็ม TYPE OF PILE (M. X M.)	เส้นรอบรูป PERIMETER (CM.)	พื้นที่หน้าตัด SECTIONAL AREA (CM.^{2})	น้ำหนัก UNIT WEIGHT (KG./M.)	ความยาวสูงสุด MAX. LENGTH (M)	น้ำหนักปลอดภัย SAFELOAD* (TONS)
I	0.18 x 0.18	90	204	49	14	8
I	0.22 x 0.22	108	337	81	22	20
I	0.26 x 0.26	A126 B126	460 500	110 120	24 24	30-35 30-35
I	0.30 x 0.30	A150 B153	600 660	144 158	24 24	35-40 40-45
I	0.35 x 0.35	A174 B170	781 880	187 211	25 25	50-55 55-60
I	0.40 x 0.40	A202 B197	1028 1240	247 298	25 25	60-70 70-80
I	0.525 x 0.525	244	2050	492	28	80-120

** Safe load depends on soil condition น้ำหนักปลอดภัยขึ้นอยู่กับสภาพดินของแต่ละพื้นที่*

รูปตัด	เส้นผ่าศูนย์กลาง	ความหนา	พื้นที่หน้าตัดคอนกรีต	น้ำหนัก	ความยาวต่อท่อน	โมเมนต์ความเฉื่อย	แรงอัดประสิทธิภาพ	แรงตัดปลอดภัย	รับน้ำหนักปลอดภัย
Section	**Dia (mm.)**	**Thickness (mm.)**	**Gross Section Area (m^2)**	**Unit weight**	**Length (m.)**	**Moment Of Inertia $cm.^4$**	**Effective Prestress ($kgf/cm.^2$)**	**Allowable Bending Moment (T-m)**	**Safe* Load (T)**
◎	300	65	480	124	5-13	36314	47.3	2.0	55
◎	350	70	616	160	5-14	65179	43.1	2.9	70
◎	400	75	766	198	5-15	108155	40.3	4.1	80
◎	450	80	930	241	5-15	169270	41.2	5.8	100
◎	500	90	1169	301	5-15	259634	43.0	8.2	120
◎	600	100	1571	408	5-15	518890	41.6	13.3	150

** Safe load depends on soil condition น้ำหนักปลอดภัยขึ้นอยู่กับสภาพดินของแต่ละพื้นที่*

แผ่นพื้นสำเร็จรูป

รูปตัด	น้ำหนักบรรทุกจร	ความกว้างแผ่นพื้น	ความหนาแผ่นพื้น	คอนกรีตทับหน้า	ระยะช่วงคาน/จำนวน - ขนาด เหล็กแรงดึงดูด				
Section	Live Load (Kg / m^2)	Width of Slab (cm.)	Slab Thickness (cm.)	Concrete Topping (cm.)	SPAN LENGTH (M.) QTY.SIZE OF P.C WIRE				
					3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
▭	150	30	6	4-5	4 -Ø4	4 -Ø4	4 -Ø4	5 -Ø5	6 -Ø5
▭	200	30	6	4-5	4 -Ø4	4 -Ø4	6 -Ø4 4 -Ø5	5 -Ø5	*
▭	300	30	6	4-5	4 -Ø4	4 -Ø4	6 -Ø4 4 -Ø5	5 -Ø5	*
▭	400	30	6	4-5	4 -Ø4	4 -Ø4	6 -Ø4 4 -Ø5	*	*

* REQUIRED SPECIAL DESIGN

ต้องคำนวณและออกแบบเป็นพิเศษ

คำแนะนำ : ควรค้ำยันตรงกลางช่วงคาน หลังจากเททับหน้าแล้ว 7 วัน จึงถอดค้ำยันออก

วัสดุงานปูนใน 1 ม^2

ชนิดงาน	อัตราส่วน	ซีเมนต์ (กก.)	ปูนขาว (ม^3)	ทราย (ม^3)	หมายเหตุ
ปูนก่อ ½ แผ่นอิฐ	1:1:3	11	0.008	0.034	อิฐมอญเล็กแนว 15 ม.
ปูนก่อ 1 แผ่นอิฐ	1:1:3	25.2	0.018	0.055	อิฐมอญเล็กแนว 15 ม.
ปูนก่อ 2 แผ่นอิฐ	1:1:3	54.6	0.039	0.118	อิฐมอญเล็กแนว 15 ม.
ปูนก่อ ½ แผ่นอิฐ 15 มม.	1:1:4	10	0.007	0.027	อิฐมอญเล็ก 126 ก้อน
ปูนก่อ ½ แผ่นอิฐ 20 มม.	1:1:4	12	0.012	0.04	อิฐมอญเล็ก 120 ก้อน
ปูนก่อ ½ แผ่นอิฐ บปก	1:1:4	14	0.016	0.048	อิฐ 54 ก้อนแนว 15 มม.
ปูนฉาบหนา 10 มม.	1:1:4	6	0.01	0.03	ฉาบ 1 ด้าน
ปูนฉาบหนา 15 มม.	1:2:5	3.5	0.005	0.013	ฉาบ 1 ด้าน
ปูนฉาบหนา 15 มม.	1:3:6	2.4	0.006	0.012	ฉาบ 1 ด้าน
ปูนฉาบหนา 20 มม.	1:3:6	3.7	0.008	0.016	ฉาบ 1 ด้าน
ปูนทรายเทพื้น 20 มม.	1:3	8	-	0.016	
ปูนทรายเทพื้น 25 มม.	1:3	10	-	0.02	
ปูนทรายเทพื้น 35 มม.	1:3	14	-	0.029	
ปูนทรายเทพื้น 50 มม.	1:3	20	-	0.04	
ปูนทรายเทพื้น 25 มม.	1:4	8	-	0.03	
ปูนทรายเทพื้น 35 มม.	1:4	12	-	0.043	
ปูนทรายเทพื้น 50 มม.	1:4	16	-	0.06	
ก่ออิฐมอญ 1 ม^3	1:1:4	126	0.1	0.36	ใช้อิฐ 1100 ก้อน
หินล้างหนา 10 มม.		8	-	-	หินเกล็ด 20 กก.
ทรายล้าง 10 มม.		14	-	0.015	
กรวดล้าง 10 มม.		8	-	0.012	กรวด 25 กก.
หินขัด 20 มม.					
ก่อกำแพงหิน 300 มม.		11 หิน 22 กก. ดินสี 0.187 กก.ม^2			
ปูนสลัด	1:3	17	-	0.2	หิน 0.3 ม^3
ฉาบขัดแตะ		8	0.01	0.08	
ปูโมเสก / กระเบื้อง 4”		11	0.038	0.095	
		2/20 โมเสก 11 ฟ^2 กระเบื้อง 81 แผ่น			

น้ำหนักของพื้นชนิดต่าง ๆ

ชนิดของพื้น	น้ำหนัก (กก./ม^2)
ซีเมนต์ ขัดมันหนา 2.5 ซม.	55
คอนกรีตเสริมเหล็กหนา 10 ซม.	240
พื้นไม้สัก หนา 1 นิ้ว	18
ปาเก้ไม้สักหนา ½ นิ้ว	10
ปาเก้ไม้แดงหนา ½ นิ้ว	14
กระเบื้องยางหนา 1.6 มม.	3.4
กระเบื้องยางหนา 2 มม.	4.2
พื้นสำเร็จรูป + อิฐโปร่ง + คานที + คอนกรีตทับหน้า 3 ซม.	175
หินขัดหนา 2.5 ซม. + รวมการฝังเส้นทองเหลือง	80

น้ำหนักกำแพงชนิดต่าง ๆ

ชนิดผนัง – กำแพง	น้ำหนัก (กก./ม^2)
ผนังอิฐมอญก่อครึ่งแผ่น + ฉาบปูน	180
ผนังอิฐมอญเต็มแผ่น + ฉาบปูน	360
ผนังคอนกรีตบล๊อก หนา 7 ซม.	120
ผนังคอนกรีตบล๊อก หนา 9 ซม.	160
ฝาไม้อัด 6 มม.+ 2 ด้าน + ไม้เคร่า 1 ½ x 3”	22
ฝาเซลโลกรีต + ไม้เคร่า 1 ½ x 3”	30
ผนังอิฐ บ.ป.ก. ก่อครึ่งแผ่น	220
ผนังอิฐ บ.ป.ก. ก่อเต็มแผ่น	240
ผนังอิฐบล๊อกแก้ว 7 ¼ x 7 ¼ x 3”	90

น้ำหนักวัสดุทั่วไป

ชื่อวัสดุ	น้ำหนัก กก. / ม^3	ชื่อวัสดุ	น้ำหนัก กก. / ม^3	ชื่อวัสดุ	น้ำหนัก กก. / ม^3
ปลาตินั่ม	21305	หินแกรนิต	2800	ปูนซีเมนต์	1440
ทองคำ	19305	หินเขี้ยวหนุมาน	2645	ถ่านหินน้ำมัน	1345
ทังสเตน	18900	หินอ่อน	2645	ถ่านลิกไนท์	1250
ปรอท	13585	อลูมิเนียม	2640	แอลกอฮอลล์ 100%	1200
ตะกั่ว	11375	กระจก	2560	กรอมิวเรียติค 40%	1200
เงิน	10510	ยิบซั่ม	2545	ยางสน	1070
โมลิบดีนั่ม	9000	แร่บอกไซส์	2545	ขี้ผึ้ง	960
นิเกิล	8730	ซีลิคอน	2480	ยางอ่อน	930
ทองเหลือง	8425	แอสเบสตอส	2450	น้ำมันพืช	930
เหล็กเหนียว	7830	กระเบื้องโฟลิน	2400	โซดา 66%	930
ทองแดง	8875	ดินเหนียวปนปูน	2195	น้ำแข็ง	916
ดีบุก	7350	ชอล์ก	2195	น้ำมันแร่	915
แมงกานีส	7305	ตะกั่วดำ	2160	ไขมันพาราฟีน	895
เหล็กหล่อ	7210	คาร์บอน	2065	น้ำมันปิโตเลี่ยม	880
สังกะสี	7150	กระจกซัลเฟอร์	2050	เบนซิน 100%	735
โครเมี่ยม	6850	ฟอสฟอรัสขาว	1825	ถ่านไฟ	720
พลวง	6665	กรดซัลฟูริค 87 %	1795	แก๊สโซลิน	670
วานาเดียม	5605	บอแร็ค	1745	ถ่านชาโค	368
หินฟอสเฟสท์	3205	แมกเนเซี่ยม	1745	ไม้ก๊อก	240
ผลึกแก้ว	2945	ถ่านหินแอนเธอไซ	1550	หิมะ	128
หินบาซอลส์	2945	กรดไนตริค 91%	1505		

การคิดปริมาตรไม้ , ลูกบาศก์ฟุต

หน้าไม้มาตรฐาน นิ้ว	หน้าตัด	ความยาวเป็นเมตร								
	นิ้ว^2	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00
1/2"x1"	0.5	.01139	.02278	.03417	.04557	.05695	.06835	.07974	.09113	.10252
1"x1",½"x2"	1.0	.02278	.04557	.06835	.09113	.11392	.13670	.15949	.18227	.20505
1"x1½"	1.5	.03417	.06835	.10252	.13670	.17087	.20505	.23923	.27340	.30157
1"x2"	2.0	.04557	.09113	.13070	.18227	.22784	.27340	.31898	.36454	.41010
1"x3",½ "x6",1½"x2", ¾" x4"	3.0	.06835	.13670	.20505	.27340	.34175	.41010	.47245	.54684	.61516
¾"x5",1¼"x3"	3.75	.08544	.17087	.25631	.34175	.42719	.51263	.59806	.68351	.76895
1½"x3"	4.5	.10263	.20505	.30758	.41010	.51263	.61516	.71768	.82021	.92274
1"x5"	5.0	.11392	.22783	.34175	.45567	.56959	.68350	.79743	.91135	1.02526
¾"x8",1"x6",1½"x4",2"x3"	6.0	.13670	.27340	.41010	.54681	.68351	.82021	.95691	1.09361	1.23031
1½"x5"	7.5	.17088	.34175	.51263	.68350	.85438	1.02526	1.19613	1.36702	1.53790
1"x8",2"x4"	8.0	.18227	.36454	.54681	.72908	.91134	1.09361	1.27588	1.45815	1.64042
1½"x6",3"x3"	9.0	.20505	.41010	.61516	.82021	1.03526	1.23031	1.43537	1.64042	1.84547
2"x5"	10.0	.22784	.45566	.68350	.91134	1.13918	1.36700	1.59486	1.82270	2.05052
1½"x8",2"x6"	12.0	.27340	.54681	.82021	1.09360	1.36702	1.64042	1.91382	2.1872	2.46063
2"x8",4"x4"	16.0	.36454	.72908	1.09361	1.45815	1.82269	2.18723	2.55176	2.91630	3.28084
3"x6"	18.0	.41010	.82021	1.23031	1.64042	2.05052	2.46062	2.87074	3.28084	3.69094
3"x8",4"x6"	24.0	.54681	1.09361	1.64042	2.18723	2.73404	3.28084	3.82764	4.37446	4.92126
5"x5"	25.0	.56959	1.13819	1.70877	2.27836	2.84795	3.41754	3.98713	4.55672	5.12631
6"x6"	36.0	.82021	1.64042	2.46063	3.28084	4.10105	4.92126	5.74147	6.56168	7.38189
8"x8"	64.0	1.45815	2.91030	4.37445	5.83260	7.29075	8.74890	10.2070	11.6652	13.1233

คอนกรีตผสมเสร็จ TPI

บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด

ประเภทของงาน	ประเภทของคอนกรีต	กำลังอัด (กก./ตร.ซม.) รูปทรงลูกบาศก์ 15x15x15 อายุ 28 วัน	อัตราส่วนน้ำ/ซีเมนต์ (w/c)	ปริมาณน้ำใน 1 ลูกบาศก์เมตร (ลิตร)	ค่ายุบตัว (ซม.)
อาคารขนาดเล็ก, บ้าน, ตึกแถว	คอนกรีตกำลังอัดต่ำ	180	0.72	180	7.5±2.5
อาคารขนาดเล็ก , บ้าน , ตึกแถว	คอนกรีตกำลังอัดต่ำ	210	0.65	180	7.5±2.5
อาคารขนาดกลาง , เททับหน้าพื้นสำเร็จรูป	คอนกรีตกำลังปกติ	240	0.60	180	7.5±2.5
อาคารขนาดกลาง , เททับหน้าพื้นสำเร็จรูป	คอนกรีตกำลังปกติ	280	0.55	180	7.5±2.5
อาคารขนาดใหญ่ , พื้น POST-TENSION	คอนกรีตกำลังค่อนข้างสูง	320	0.51	180	7.5±2.5
อาคารขนาดใหญ่ , พื้น POST-TENSION	คอนกรีตกำลังค่อนข้างสูง	350	0.48	180	7.5±2.5
อาคารขนาดใหญ่ , พื้น POST-TENSION	คอนกรีตกำลังค่อนข้างสูง	380	0.45	180	7.5±2.5
อาคารขนาดใหญ่ , พื้น POST-TENSION	คอนกรีตกำลังค่อนข้างสูง	400	0.42	180	7.5±2.5
อาคารขนาดใหญ่ , พื้น POST-TENSION	คอนกรีตกำลังค่อนข้างสูง	420	0.40	180	7.5±2.5

ผลิตภัณฑ์คอนกรีต ทีพีไอ

คอนกรีตผสมเสร็จ ทีพีไอ

ผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ใช้ในโครงสร้างทั่วไป เช่น พื้น คาน เสา ฯลฯ โดยการออกแบบค่ากำลังอัดประลัย ค่ายุบตัว ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

คอนกรีตเข็มเจาะ ทีพีไอ

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการเทเข็มเจาะโดยเฉพาะเนื่องจากถูกออกแบบให้มีความลื่นไหลสูง มีระยะเวลาการก่อตัวนานกว่าคอนกรีตทั่วไปโดยผสมน้ำยาหน่วงเพื่อให้มีเวลาเพียงพอในการทำงาน มีทั้งเข็มเจาะเล็กและเข็มเจาะใหญ่

คอนกรีตกำลังอัดสูง ทีพีไอ

ผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่มีความแข็งแกร่งเป็นพิเศษโดยเริ่มตั้งแต่ 450 กก./ตร.ซม. ขึ้นไป คอนกรีตชนิดนี้สามารถรองรับงานที่มีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก รวมทั้งงานที่ต้องการถอดแบบเร็ว

คอนกรีตแข็งตัวเร็ว ทีพีไอ

ผลิตภัณฑ์คอนกรีตคุณสมบัติพิเศษที่สามารถถอดแบบใช้งานได้ภายใน 24 ชั่วโมง โดยรับแรงอัดประลัยได้ไม่น้อยกว่า 240 กก./ตร.ซม. เหมาะกับงานถนนหรือคอสะพาน ซึ่งต้องการถอดแบบเร็ว

คอนกรีตปั๊ม ทีพีไอ

ผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ใช้สำหรับการยิงปั๊มโดยเฉพาะ เนื่องจากมีความสามารถในการไหลตัวสูงโดยปราศจากการแยกตัว เทโดยผ่านที่ปั๊มยิงคอนกรีตไปในที่ที่ยากต่อการเทตามปกติ เช่น อุโมงค์ ตึก-สูง ทำให้สะดวกและรวดเร็ว

คอนกรีตอัดแรง ทีพีไอ

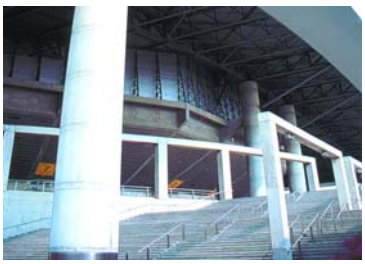
เป็นคอนกรีตที่ออกแบบเพื่อให้ได้กำลังอัด 80% ของค่ากำลังอัดที่ 28 วัน ภายในระยะเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อทำการอัดแรงของคอนกรีตให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เหมาะสำหรับงานที่ต้องการรับน้ำหนักมากเป็นพิเศษ

คอนกรีตกันซึม ทีพีไอ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการออกแบบให้มีความทึบน้ำเป็นพิเศษ โดยผสมน้ำยากันซึมทำให้คอนกรีตสามารถกันน้ำซึมผ่านได้ เหมาะสำหรับเทสระว่ายน้ำ พื้นชั้นดาดฟ้า ชั้นใต้ดิน

คอนกรีตควบคุมการหดตัว ทีพีไอ

ผลิตภัณฑ์ที่ถูกออกแบบโดยเฉพาะเพื่อควบคุมการหดตัวของคอนกรีต ช่วยลดโอกาสการแตกร้าวทั้งในขณะที่คอนกรีตยังอยู่ในสถานะพลาสติก (Plastic Stage) และที่เริ่มแข็งตัวแล้ว เหมาะสำหรับงานที่ต้องการควบคุมการหดตัวเป็นพิเศษ เช่น งานเทเชื่อมแนวหรือรอยต่อกำแพง



คอนกรีตไหลเข้าแบบง่าย ทีพีไอ

เหมาะสำหรับงานที่มีเหล็กเสริมแน่น มีความสลับซับซ้อนที่ยากต่อการเทโดยไม่ต้องจี้เขย่า ดังนั้นจึงสามารถป้องกันการเกิดโพรงในโครงสร้างของคอนกรีตเมื่อถอดแบบผิวคอนกรีตจึงเรียบสวยงาม

คอนกรีตสำหรับห้องเย็น ทีพีไอ

ผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ช่วยป้องกันปัญหาการแตกร้าวอันเนื่องมาจากการขยายและหดตัวของน้ำที่กลายมาเป็นน้ำแข็งและละลายเป็นน้ำสลับไปมา ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในห้องเย็นแช่แข็ง

คอนกรีตสำหรับพ่น ทีพีไอ

ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะร่วนแห้ง สำหรับยิงคอนกรีตที่ต้องการให้ได้กำลังรับแรงเพียงพอต่อการรับน้ำหนักเพียงชั่วคราวหรือถาวรในลักษณะงานผนังอุโมงค์ใต้ดินหรือผนังรับแรงดิน

คอนกรีตความร้อนต่ำ ทีพีไอ

การเทคอนกรีตปริมาณมากสำหรับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น ฐานราก เขื่อน ตอม่อสะพาน ฯลฯ มักจะพบกับปัญหาคอนกรีตแตกร้าวที่เกิดจากความร้อนของปฏิกิริยา Hydration ทีพีไอ คอนกรีต จึงได้พัฒนาคอนกรีตเพื่อลดความร้อนที่เกิดจากปฏิกิยา Hydration

คอนกรีตต้านทานซัลเฟต ทีพีไอ

มีโครงสร้างคอนกรีตจำนวนไม่น้อยที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีสารซัลเฟตและคลอไรด์คอยกัดกร่อนเนื้อคอนกรีตจนทำให้น้ำและอากาศสามารถซึมผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมภายในจนเกิดเป็นสนิม เป็นเหตุให้โครงสร้างคอนกรีตนั้นๆ เสื่อมสภาพไปในเวลาอันรวดเร็ว เช่น โครงสร้างบริเวณชายฝั่งทะเล ท่าเรือ แม่น้ำลำคลอง รวมทั้งงานวางท่อระบายน้ำและบ่อบำบัดน้ำเสียซึ่งกระจายอยู่ทั่วไป ทีพีไอ คอนกรีต ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวจึงได้พัฒนาคอนกรีตคุณสมบัติพิเศษที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนจากสารซัลเฟตรวมไปถึงสารคลอไรด์ ช่วยให้โครงสร้างมีความทนทานมากกว่าคอนกรีตธรรมดาทั่วไป

บริการปั๊มคอนกรีต ทีพีไอ

- **ปั๊มบูม (Mobile Pump)** เป็นปั๊มที่สามารถเคลื่อนย้ายจุดยิงได้สะดวก มีบริการ 3 ขนาด คือ 28 เมตร 32 เมตร และ 36 เมตร
- **ปั๊มลาก (Station Pump)** เป็นปั๊มที่อาศัยการต่อท่อลำเลียงคอนกรีตไปยังจุดเท สามารถปั๊มคอนกรีตได้สูงกว่า 40 ชั้น

ผลงานที่ผ่านมา

บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด

26/56 อาคารทีพีไอ ทาวเวอร์ ชั้น 5 ถนนจันทน์ตัดใหม่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

โทร. 0-2678-5350-74 โทรสาร. 0-2678-5376-8

ศูนย์รับงาน-จัดส่ง (บริการ 24 ชั่วโมงทุกวัน) โทร. 0-2678-5382-90 โทรสาร.0-2678-5395-6

คอนกรีต ทีพีไอ