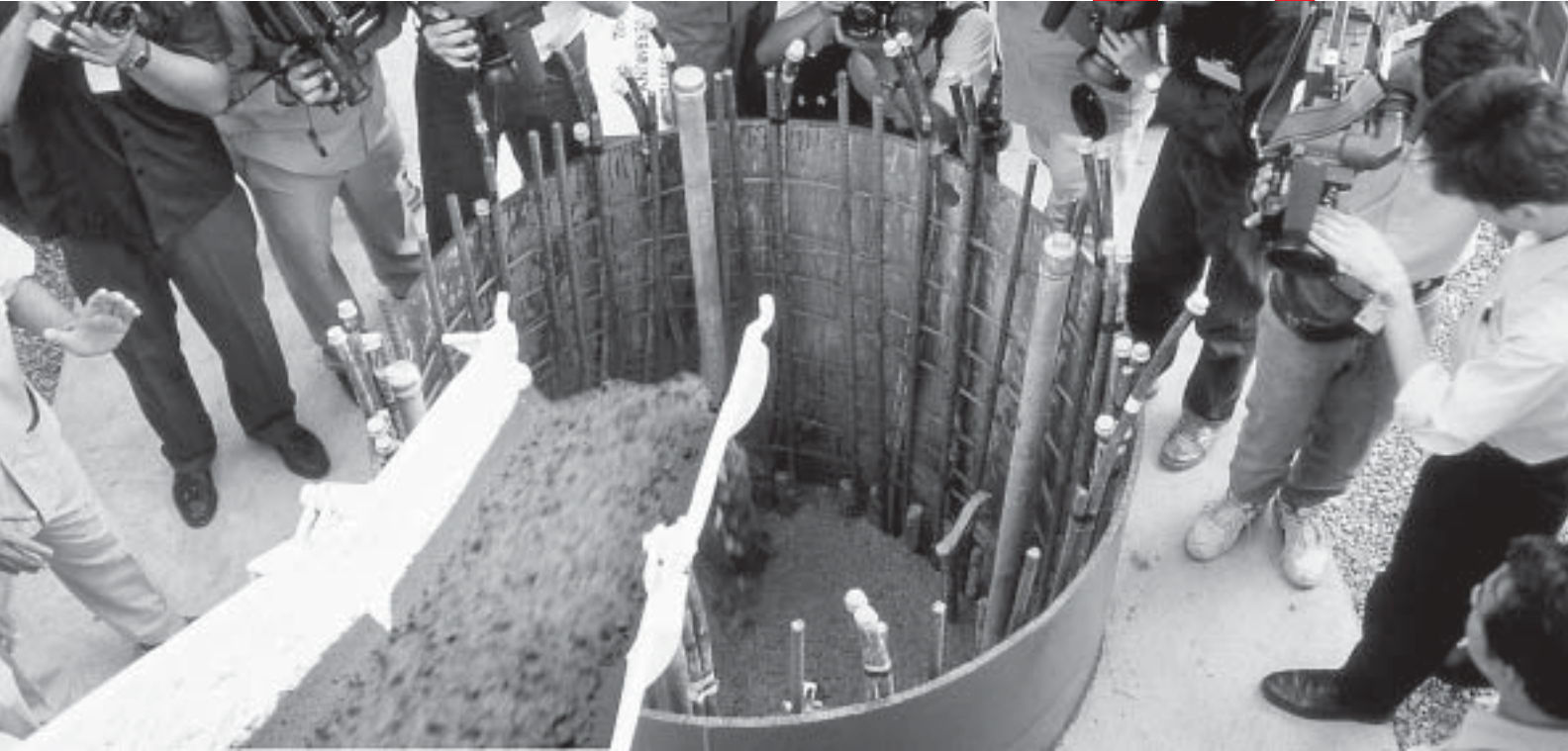


คุณสมบัติของคอนกรีตสด

บทที่

12



รูปที่ 12-1 การสาธิตการเทคอนกรีตสดที่มีคุณสมบัติความสามารถเทได้ดี

บทคัดย่อ

คอนกรีตสด คือ คอนกรีตที่คงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะแข็งตัวในเวลาต่อมา และมีความข้นเหลวเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานหล่อเป็นคอนกรีตแข็งตัวแล้วที่มีรูปร่างและคุณสมบัติตามต้องการได้

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

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



12.1 คำนิยาม

คอนกรีตสด (Fresh Concrete)

คือ คอนกรีตที่คงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะแข็งตัวในเวลาต่อมา และมีความชื้นเหลวเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานหล่อเป็นคอนกรีตแข็งตัวแล้วที่มีรูปร่างและคุณสมบัติตามต้องการได้

ความสามารถเทได้ (Workability)

คือ ปริมาณงานที่ใช้ในการอัดคอนกรีตสดให้แน่นโดยปราศจากการแยกตัว

ใน ตารางที่ 12-1 แสดงคำนิยามของความสามารถเทได้ที่นิยามโดยองค์กรต่าง ๆ



รูปที่ 12-2 คุณสมบัติของคอนกรีตสดส่งผลโดยตรงต่อกำลังและความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

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

ตารางที่ 12-1 คำนิยามของความสามารถเทได้

การยึดเกาะ (Cohesion)

คือ คุณสมบัติของเนื้อคอนกรีตสดที่สามารถจับรวมเป็นกลุ่มหรือสลายตัวออกจากกันได้ยาก และเกี่ยวข้องกับแนวโน้มของคอนกรีตสดที่จะเกิดการเยิ้ม หรือการแยกตัว

ความชื้นเหลว (Consistency)

คือ สภาพความเหลวของคอนกรีตสดซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเป็นส่วนใหญ่ ความชื้นเหลวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของความสามารถในการใช้งาน และสามารถวัดค่าได้ชัดเจนด้วยวิธีการทดสอบ เช่น ค่ายุบตัว, และค่าการไหล เป็นต้น

การแยกตัว (Segregation)

คือ การแยกจากกันของวัสดุองค์ประกอบต่าง ๆ ในเนื้อคอนกรีตสด ทำให้ส่วนผสมมีเนื้อไม่สม่ำเสมอตลอดทุกส่วน

การเยิ้ม (Bleeding)

คือ การแยกตัวชนิดหนึ่ง โดยเป็นปรากฏการณ์การคายน้ำของคอนกรีตสด เกิดขึ้นเมื่อส่วนประกอบที่หนักกว่าจมตัวลง แล้วดันน้ำซึ่งเบาที่สุดขึ้นสู่ผิวหน้าคอนกรีต

12.2 ความสามารถเทได้

คำจำกัดความของความสามารถเทได้ก็คือ “ผลรวมของพลังงานหรือกำลังงานที่จะเอาชนะแรงเสียดทานในระหว่างอนุภาคของส่วนผสมในเนื้อคอนกรีตสด อันจะก่อให้เกิดการอัดแน่นของคอนกรีตอย่างสมบูรณ์”

โดยทฤษฎีพลังงานนี้จะต้องเอาชนะแรงเสียดทานภายในระหว่างอนุภาคของส่วนผสมในเนื้อคอนกรีตสด แต่ในทางปฏิบัติพลังงานที่ใส่เข้าไปนี้จะต้องเอาชนะทั้งแรงเสียดทานภายในระหว่างอนุภาคและแรงเสียดทานระหว่างส่วนผสมคอนกรีตกับแบบหล่อและเหล็กเสริม นอกจากนี้พลังงานบางส่วนจะสูญเสียไปในการเขย่าแบบหล่อ และเขย่าคอนกรีตที่อัดแน่นเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นในทางปฏิบัติ จึงเป็นการยากที่จะวัดค่าความสามารถเทได้ของคอนกรีตตามคำนิยามนี้ สิ่งที่เราวัดความสามารถเทได้จึงเป็นวิธีการที่ประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมเท่านั้น

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตสดที่เหมาะสมในการใช้งาน นอกจากการคำนึงถึงความง่ายในการทำงานและการไม่แยกตัวของเนื้อคอนกรีตแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงชนิดของโครงสร้างและวิธีการเทและวิธีการจี้เขย่าด้วย เพื่อให้เนื้อคอนกรีตได้รับการอัดแน่นมากที่สุด เช่น คอนกรีตที่เหมาะสมกับงานฐานรากขนาดใหญ่ที่มีค่ายุบตัวสูง อาจไม่เพียงพอที่จะเทในงานที่มีเหล็กเสริมหนาแน่นมากหรือโครงสร้างบาง ๆ ได้ เป็นต้น

เพราะว่ากำลังอัดของคอนกรีตจะผันแปรหรือได้รับผลกระทบโดยตรงจากช่องว่างที่ปรากฏอยู่ในเนื้อคอนกรีตที่อัดแน่น ดังนั้นควรทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ นั่นคือจำเป็นต้องทำให้คอนกรีตสดมีความสามารถเทได้เพียงพอ เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถอัดแน่นได้ดี โดยใช้พลังงานที่เหมาะสมภายใต้สภาพที่กำหนด

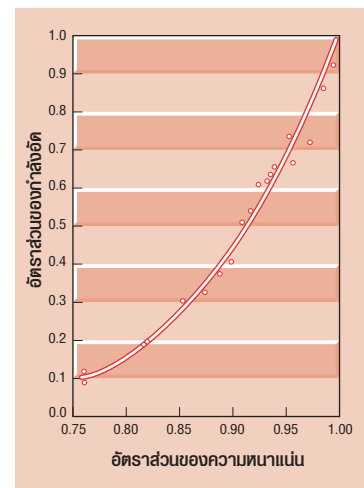
ใน **รูปที่ 12-3** จะเห็นว่า ช่องว่างที่อยู่ในเนื้อคอนกรีตจะทำให้ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง และส่งผลทำให้กำลังอัดลดลงอย่างมาก โดยช่องว่างที่เกิดขึ้น 5% สามารถทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดลดลงถึงประมาณ 30%

● การทดสอบความสามารถเทได้

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

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

ตารางที่ 12-2 การทดสอบความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด



รูปที่ 12-3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของการอัดแน่นและอัตราส่วนของการอัด



12.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถเทได้

ความสามารถเทได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่มาเกี่ยวข้อง ดังใน ตารางที่ 12-3



รูปที่ 12-4 หินที่มีรูปร่างยาวหรือแบน จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ต่ำกว่า



รูปที่ 12-5 ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนทรายต่อมวลรวมทั้งหมดต่ำเกินไป จะเกิดการแยกตัวได้ง่าย

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถเทได้	ผลกระทบ
<p>1. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต</p>	<p>ปูนซีเมนต์</p> <ul style="list-style-type: none"> • ถ้าต้องการให้ความสามารถเทได้เท่ากัน ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากกว่าจะต้องการน้ำปริมาณมากกว่า <p>มวลรวม</p> <ul style="list-style-type: none"> • หินทรายที่มีขนาดละเอียด จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ดี • หินที่กลมผิวเกลี้ยง จะทำให้คอนกรีตมีการสั่นไหลที่ดีกว่าหินที่ยาวหรือแบนและผิวขรุขระ • ความพรุนของมวลรวม จะทำให้การดูดซึมน้ำสูงและลดความสามารถเทได้ลง • ถ้าต้องการให้ความสามารถเทได้เท่ากัน มวลรวมที่ละเอียดต้องใช้ไปในส่วนผสมมากกว่ามวลรวมที่หยาบ <p>สารผสมเพิ่ม</p> <ul style="list-style-type: none"> • สารผสมเพิ่มชนิดผงละเอียดบางชนิด เช่น เถ้าลอย ที่มีคุณภาพดี เป็นต้น จะช่วยเพิ่มความสั่นไหลให้กับคอนกรีต • สารกระจายฟองอากาศ (Air Entraining Agent) จะทำให้คอนกรีตมีการสั่นไหลดีขึ้น แต่กำลังอัดอาจลดลง • สารลดน้ำจะช่วยเพิ่มการสั่นไหล
<p>2. ส่วนผสมคอนกรีต</p>	<p>ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต</p> <ul style="list-style-type: none"> • ปริมาณน้ำผสมคอนกรีตเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด โดยการเพิ่มปริมาณน้ำจะทำให้เกิดการหล่อลื่นในระหว่างอนุภาคมากขึ้น • ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดช่องว่างเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วมากขึ้น ดังนั้นควรใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม • ปริมาณน้ำที่พอเหมาะกับช่องว่างระหว่างมวลรวมจึงมีผลต่อการหล่อลื่น <p>อัตราส่วนมวลรวมต่อปูนซีเมนต์ (A/C)</p> <ul style="list-style-type: none"> • ภายใต้อัตราส่วนคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์คงที่ ความสามารถเทได้จะเพิ่มขึ้นถ้าอัตราส่วนมวลรวมต่อปูนซีเมนต์ลดลง <p>อัตราส่วนทรายต่อมวลรวมทั้งหมด (S/A)</p> <ul style="list-style-type: none"> • ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนทรายต่อมวลรวมทั้งหมดต่ำสามารถก่อให้เกิดการแยกตัวได้ รวมถึงความสามารถเทได้จะต่ำลงด้วย • ถ้าใช้ทรายในส่วนผสมมากขึ้น อาจทำงานง่ายขึ้น แต่จะสิ้นเปลืองปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้นด้วย ถ้าจะยังคงกำลังอัดเท่าเดิม

ตารางที่ 12-3 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถเทได้

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถเทได้	ผลกระทบ
3. เวลา หรืออายุของคอนกรีตสด	<ul style="list-style-type: none"> เมื่อเวลาผ่านไป คอนกรีตสดจะเริ่มก่อตัวและแข็งตัวในที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เพราะน้ำผสมคอนกรีตบางส่วนถูกใช้ไปในปฏิกิริยาไฮเดรชัน บางส่วนถูกดูดซับไว้โดยมวลรวม และบางส่วนระเหยไป การเริ่มก่อตัวของคอนกรีตสามารถวัดได้โดยการวัดความสามารถเทได้ที่สูงสูญเสียไปกับเวลาที่ผ่านไป โดยการวัดค่าการสูญเสียค่ายุบตัว หรือ “Slump Loss”
4. อุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิคอนกรีตสด, ความเร็วลม, และความชื้นสัมพัทธ์	<ul style="list-style-type: none"> ถ้าอากาศร้อน ลมแรง และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ คอนกรีตสดจะมีอุณหภูมิสูง และมีอัตราการระเหยของน้ำสู่ภายนอกเร็วขึ้น ทำให้คอนกรีตสูญเสียความสามารถเทได้เร็วขึ้น
5. ระยะเวลาผสมคอนกรีต, ลำดับการผสม, และชนิดและประสิทธิภาพของเครื่องผสม	<ul style="list-style-type: none"> ถ้าระยะเวลาผสมคอนกรีตน้อยเกินไป จะทำให้คอนกรีตสดมีเนื้อไม่สม่ำเสมอ มีความสามารถเทได้ไม่ดี และเกิดการแยกตัวได้ง่าย เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วอาจมีผิวหน้าไม่เรียบและมีโพรงอากาศมาก ถ้าระยะเวลาผสมคอนกรีตนานเกินไป จะทำให้คอนกรีตสดมีความสามารถเทได้ลดลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำเช่นเดียวกับเหตุผลเรื่องเวลาหรืออายุของคอนกรีตสด ลำดับการผสม และชนิดและประสิทธิภาพของเครื่องผสมที่แตกต่างกัน มักทำให้คอนกรีตสดมีความสามารถเทได้ที่แตกต่างกันด้วย



รูปที่ 12-6 เนื้อคอนกรีตสดมีลักษณะแห้ง และมีความสามารถเทได้ต่ำ เนื่องจากคอนกรีตเริ่มก่อตัวและเกิดการสูญเสียน้ำไปบางส่วน

ตารางที่ 12-3 (ต่อ) ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถเทได้

12.4 การยึดเกาะและการแยกตัว

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



รูปที่ 12-7 ลักษณะเนื้อคอนกรีตสดที่เหลวมากด้วยน้ำยาผสมคอนกรีต มีเนื้อสม่ำเสมอ มีการยึดเกาะดี และไม่เกิดการแยกตัว

คุณสมบัติความต้านทานต่อการแยกตัวของคอนกรีตสดมีความสำคัญ เพราะเป็นคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสดเองและยังมีผลต่อกำลังและความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้วด้วย



รูปที่ 12-8 เนื้อคอนกรีตสดเกิดการแยกตัว



รูปที่ 12-9 คอนกรีตสดเกิดการแยกตัว เนื่องจากมีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตไม่เหมาะสม

● รูปแบบของการแยกตัว

1. มวลรวมหยาบแยกตัวออกจากส่วนผสม เมื่อคอนกรีตเคลื่อนที่ผ่านทางชั้น หรือ มวลรวมหยาบจมตัวลงมากกว่ามวลรวมละเอียด
2. ซีเมนต์เพสต์หรือน้ำปูนแยกตัวออกจากส่วนผสม เนื่องจากส่วนผสมเหลวมากเกินไป หรือเกิดการเยิ้มขึ้น

● ผลกระทบของการแยกตัว

ถ้าคอนกรีตสดเกิดการแยกตัว การอัดแน่นคอนกรีตอย่างสมบูรณ์จะกระทำไม่ได้ยาก และไม่สามารถทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงเท่าที่ควรจะเป็น ส่งผลทำให้คอนกรีตแข็งตัวแล้วมีกำลัง, แรงยึดเหนี่ยว, ความคงทน, และอายุการใช้งานลดลง

● สาเหตุของการแยกตัว

สาเหตุของการแยกตัวของคอนกรีตสด ดังใน ตารางที่ 12-4

เลือกใช้วัสดุผสมคอนกรีตที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสม	ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตไม่เหมาะสม	วิธีการก่อสร้างไม่ถูกต้อง
<ul style="list-style-type: none"> • ใช้มวลรวมหยาบที่มีขนาดโตสุดเกิน 1 นิ้ว • ขนาดคละของมวลรวมไม่ดี โดยเฉพาะการใช้ทรายที่มีขนาดคละออกหยาบหรือมีขนาดคละขาดตอน • ใช้มวลรวมที่มีความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันมาก 	<ul style="list-style-type: none"> • มีสัดส่วนของมวลรวมหยาบในส่วนผสมคอนกรีตมากเกินไป • สัดส่วนของส่วนละเอียด (ปูนซีเมนต์และทราย) ในส่วนผสมคอนกรีตน้อยเกินไป • ส่วนผสมคอนกรีตที่เหลวมากเกินไปหรือแห้งมากเกินไป 	<ul style="list-style-type: none"> • การลำเลียงหรือการขนส่งเป็นระยะทางไกลมากเกินไป • การเทคอนกรีตไม่ถูกวิธี เช่น เทผ่านรางที่เปลี่ยนทิศทาง, ปลอ่ยคอนกรีตกระทบกับสิ่งกีดขวาง, ปลอ่ยคอนกรีตจากระยะที่สูงเกินไป • การอัดแน่นไม่ถูกวิธี เช่น จัฆย่ำนานเกินไป, จัฆย่่าให้คอนกรีตไหลในแนวราบ

ตารางที่ 12-4 สาเหตุของการแยกตัว

● วิธีการป้องกันการแยกตัว

วิธีการป้องกันการแยกตัวของคอนกรีตสด ดังใน ตารางที่ 12-5



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

เลือกใช้วัสดุผสมคอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสม	ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสม	ทำการก่อสร้างด้วยวิธีการที่ถูกต้อง
<ul style="list-style-type: none"> • ใช้มวลรวมหยาบที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 1 นิ้ว • ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละดี • ใช้มวลรวมที่มีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกัน 	<ul style="list-style-type: none"> • ทำให้คอนกรีตเหลวและมีความสามารถเทได้ดี โดยการใช้น้ำยาลดน้ำแทนที่การเพิ่มปริมาณน้ำ • ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสม มีส่วนละเอียด (ปูนซีเมนต์และทราย) เพียงพอ • พสมสารผสมเพิ่มประเภทแร่ผสมเพิ่มเพื่อเพิ่มปริมาณส่วนละเอียดในส่วนผสม 	<ul style="list-style-type: none"> • สำเลียงอย่างถูกวิธี • เทอย่างถูกวิธี • อัดแน่นอย่างถูกวิธี

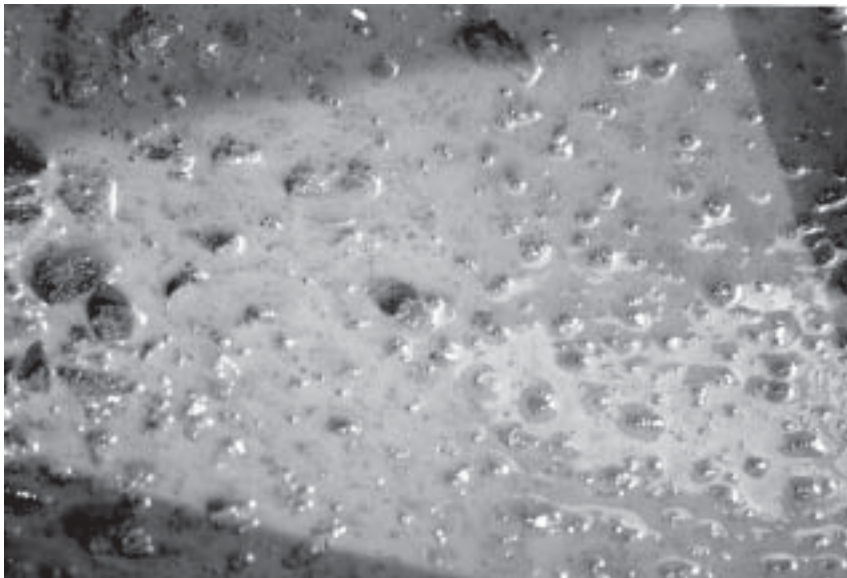
ตารางที่ 12-5 วิธีการป้องกันการแยกตัว

- การทดสอบการยัดเกาะและการแยกตัว

โดยทั่วไป นิยมใช้วิธีสังเกตการยัดเกาะและการแยกตัวจากลักษณะเนื้อคอนกรีต สดจากการทดสอบค่ายุบตัว (Slump Test) ตามมาตรฐาน ASTM C 143

12.5 การเยิ้ม

การเยิ้ม (Bleeding) เป็นปรากฏการณ์การคายน้ำของคอนกรีตสด และเป็นรูปแบบหนึ่งของการแยกตัว ลักษณะที่สำคัญคือ น้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบที่เบาที่สุดในส่วนผสมบางส่วน ถูกดันให้ลอยตัวขึ้นมาอยู่ที่ผิวหน้าของคอนกรีตสด อันเนื่องมาจากการจมลงของมวลรวมซึ่งเป็นองค์ประกอบที่หนักกว่าในส่วนผสม และการเยิ้มจะหยุดเมื่อซีเมนต์เพสต์แข็งตัวพอที่จะหยุดการจมลงของมวลรวม



รูปที่ 12-11 การเยิ้มของน้ำและน้ำยาเนื่องจากใส่ น้ำหรือสารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) ในส่วนผสมคอนกรีตมากเกินไป

- รูปแบบของการเยิ้ม

1. การเยิ้มที่เกิดขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งผิวหน้าคอนกรีต มักเกิดในปริมาณน้อย และไม่เป็นอันตรายนัก
2. การเยิ้มที่เกิดขึ้นอย่างมาเฉพาะบางบริเวณหรือเฉพาะจุด โดยปกติจะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต

- ผลกระทบของการเยิ้ม

การเยิ้มจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตใน 3 ลักษณะ คือ

1. ทำให้ผิวคอนกรีตอ่อนแอและไม่สวยงาม เกิดเป็นฝุ่น หรือหลุดล่อนเป็นแผ่น ๆ ได้ง่าย
ถ้าคอนกรีตสดเกิดการเยิ้มน้ำขึ้นมาที่ผิวด้านบนมากเกินไป เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วผิวด้านบนของคอนกรีตจะมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงสุดหรือมีกำลัง



รูปที่ 12-12 การเยิ้มของน้ำและน้ำยา ขึ้นมาที่ผิวหน้าคอนกรีตเฉพาะจุด



รูปที่ 12-13 การเยิ้มของคอนกรีตที่มากเกินไป ทำให้ผิวหน้าคอนกรีตเป็นฝุ่นได้ง่าย

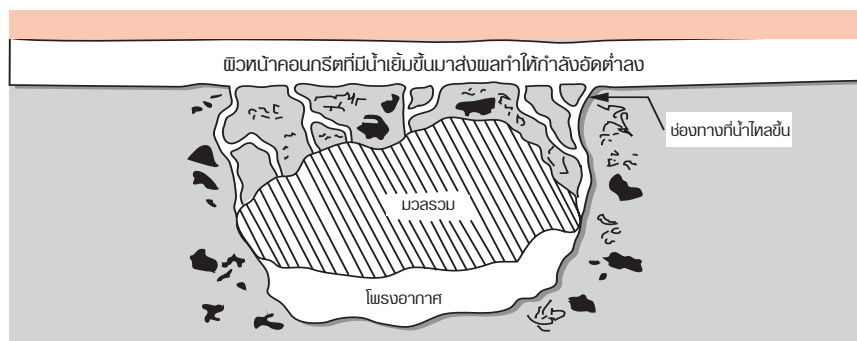


รูปที่ 12-14 ผิวหน้าคอนกรีตเกิดเป็นชั้นบาง ๆ ที่เรียกว่า Laitance ทำให้หลุดลอกเป็นแผ่น ๆ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการแต่งผิวหน้าคอนกรีตในขณะที่ยังมีน้ำเยิ้มอยู่

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

2. ทำให้เกิดโพรงอากาศข้างใต้มวลรวมหยาบและเหล็กเสริม และทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม

นอกจากน้ำที่ลอยตัวขึ้นมาแล้วน้ำบางส่วนจะถูกกักไว้ใต้มวลรวมหยาบและเหล็กเสริม ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหรือเหล็กเสริมลดลงอย่างมาก และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะเกิดโพรงอากาศ (Capillary Pores) ที่เรียงตัวต่อเนื่องในทิศทางเดียวกันทำให้การซึมผ่านได้ของน้ำเข้าสู่ภายในเนื้อคอนกรีต โดยเฉพาะในระนาบแนวนอนอาจเพิ่มขึ้น และยังทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมเร็วขึ้นด้วย การเยิ้มนี้จะพบได้บ่อยในงานเทคอนกรีตพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น ฐานรากขนาดใหญ่, และถนน เป็นต้น

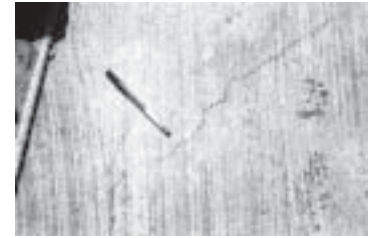


รูปที่ 12-15 การเยิ้มของคอนกรีตสดทำให้เกิดโพรงอากาศข้างใต้มวลรวมหยาบ

3. มีผลกระทบต่อเกิดการแตกร้าวในช่วงที่คอนกรีตกำลังก่อตัว

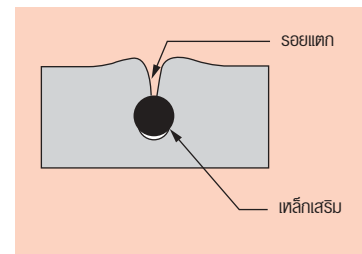
3.1 มีผลกระทบต่อเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวในขณะกำลังก่อตัว (Plastic Shrinkage Crack) ของคอนกรีต : การแตกร้าวชนิดนี้ มีสาเหตุมาจากคอนกรีตในสภาวะพลาสติกหรือในช่วงหลังจากการแต่งผิวหน้าคอนกรีตแล้วเสร็จจนถึงช่วงที่คอนกรีตเริ่มก่อตัว (โดยทั่วไปจะเกิดในช่วง 30 นาที ถึง 6 ชั่วโมง หรืออาจเกิดขึ้นช้ากว่านี้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

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



รูปที่ 12-16 ลักษณะรอยแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวในขณะกำลังก่อตัว (Plastic Shrinkage Crack)

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



รูปที่ 12-17 ลักษณะรอยแตกร้าวเนื่องจากการทรุดตัวในขณะกำลังก่อตัว (Plastic Settlement Crack)

● ปัจจัยที่มีผลและวิธีการลดการเยิ้ม

1. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต

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



- 1.2 **มวลรวม** : การใช้มวลรวมละเอียดหรือทรายที่มีความละเอียดมากกว่า โดยเฉพาะอนุภาคมวลรวมละเอียดที่มีขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน (ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 100) จะช่วยลดปริมาณการเยิ้มได้ แต่วัสดุที่ละเอียดมากนี้ต้องเป็นฝุ่นของมวลรวมละเอียดหรือฝุ่นทราย ไม่ใช่ดิน
- 1.3 **สารผสมเพิ่ม** : การใช้แร่ผสมเพิ่ม เช่น ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) ซึ่งมีความละเอียดสูงมาก จะช่วยลดการเยิ้มได้ หรือใช้สารเคมีผสมเพิ่ม เช่น สารกระจายกักฟองอากาศ หรือสารเร่งการก่อตัว ก็จะช่วยลดการเยิ้มได้เช่นกัน

2. ส่วนผสมคอนกรีต

- 2.1 **ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต** : ปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีตเป็นปัจจัยสำคัญของการเยิ้มของคอนกรีตสด ถ้ามีน้ำในส่วนผสมน้อยกว่า มีแนวโน้มจะเกิดการเยิ้มน้อยกว่า
- 2.2 **ปริมาณส่วนละเอียด** : การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์หรือใช้ทรายในส่วนผสมคอนกรีตปริมาณมากกว่า มีแนวโน้มจะเกิดการเยิ้มน้อยกว่า

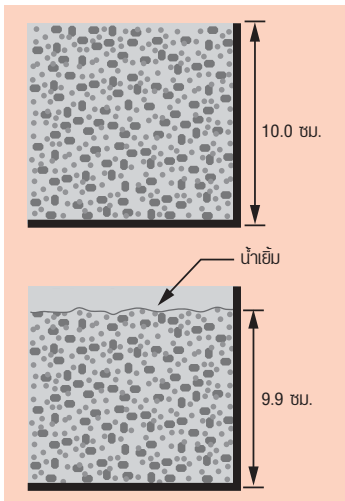
3. **เวลาการก่อตัวของคอนกรีต** : การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเร็วขึ้นหรือมีเวลาการก่อตัวเร็วขึ้น จะช่วยลดปริมาณการเยิ้มได้
4. **สภาพแวดล้อม** : อุณหภูมิอากาศในช่วงปกติที่สูงกว่า จะทำให้คอนกรีตมีอัตราการเยิ้มเร็วขึ้น แต่ปริมาณการเยิ้มที่เกิดขึ้นรวมทั้งหมดอาจไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิอากาศที่ต่ำมาก อาจเพิ่มปริมาณการเยิ้มได้ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าคอนกรีตก่อตัวช้ากว่าปกติ จึงมีช่วงเวลาในการเยิ้มนานขึ้น

● การทดสอบการเยิ้ม

การหาค่าการเยิ้มสามารถแสดงออกมาเป็นปริมาณซึ่งได้จากอัตราส่วนค่ายุบตัวลง

ต่อหน่วยความสูงของคอนกรีตดังแสดงใน **รูปที่ 12-18**

การทดสอบการเยิ้ม นิยมทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 232

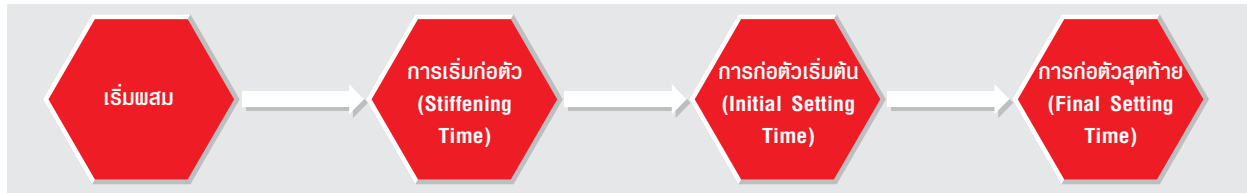


รูปที่ 12-18 การหาค่าการเยิ้มของคอนกรีตสด

12.6 เวลาการก่อตัว

การก่อตัว (Setting) และการแข็งตัว (Hardening) เป็นปรากฏการณ์หนึ่งของซีเมนต์เพสต์ที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้เกิดการเติมเต็มช่องว่างภายในด้วยผลผลิตจากปฏิกิริยา ดังนั้นการก่อตัวของคอนกรีตจึงถือเป็นลักษณะทางกายภาพที่แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตและเป็นกระบวนการเริ่มแข็งตัวของคอนกรีตสด

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



รูปที่ 12-19 ขั้นตอนการก่อตัวของคอนกรีต

ระยะที่ 1 : เวลาการเริ่มก่อตัว (Stiffening Time)

คือ เวลาที่มอร์ตาร์สามารถรับแรงเสียดทานจากเครื่องทดสอบได้ 5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (หรือ 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ณ เวลานั้นคอนกรีตเริ่มแข็งกระด้างหรือเริ่มจับตัวกันแล้ว

ระยะที่ 2 : เวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time)

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

ระยะที่ 3 : เวลาการก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time)

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

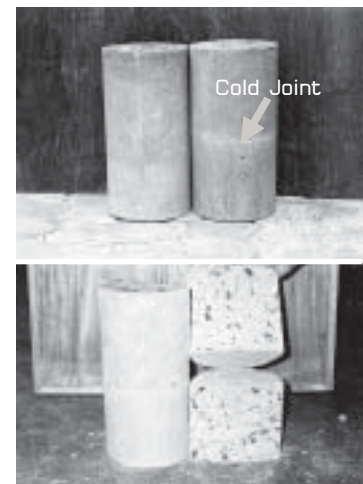
ค่าแรงเสียดทานดังกล่าวนี้ เป็นค่าที่กำหนดขึ้นโดยการทดสอบเวลาการก่อตัวของคอนกรีตด้วยวิธีการหาความต้านทานต่อการกด (Penetration Resistance) ของมอร์ตาร์ที่ได้จากการร่อนส่วนผสมคอนกรีตผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐาน ตามมาตรฐาน ASTM C 403

ค่าความสามารถรับแรงเสียดทานของมอร์ตาร์ไม่ได้แสดงถึงกำลังอัดของคอนกรีต ทั้งนี้เพราะที่เวลาการก่อตัวเริ่มต้นหรือค่าแรงเสียดทานของมอร์ตาร์ 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตยังไม่มีกำลังอัดเลย และที่เวลาการก่อตัวสุดท้ายหรือค่าแรงเสียดทานของมอร์ตาร์ 276 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตมีกำลังอัดเพียง 7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

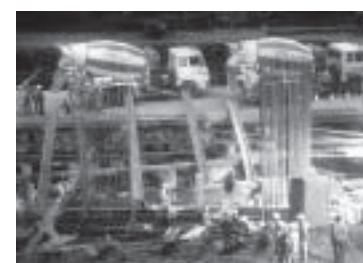
เวลาการก่อตัวของคอนกรีตไม่เหมือนกับเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ แต่มีส่วนคล้ายกับเวลาการก่อตัวของมอร์ตาร์ ดังนั้นการหาเวลาการก่อตัวของคอนกรีต จึงทำได้โดยการหาเวลาการก่อตัวของมอร์ตาร์

การทำงานเทคอนกรีตจะต้องให้เสร็จสิ้นก่อนเวลาการเริ่มก่อตัว (Stiffening Time) เพราะถ้าช้ากว่านี้ คอนกรีตจะเริ่มจับตัวกันแล้ว

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



รูปที่ 12-20 ตัวอย่างการเกิด Cold Joint ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 12-21 งานเทคอนกรีตสำหรับโครงสร้างฐานรากแม่ขนาดใหญ่ ซึ่งต้องใช้เวลานาน จำเป็นต้องใช้คอนกรีตที่ได้รับการออกแบบให้มีความยาวการก่อตัวนานเพียงพอ เพื่อไม่ให้เกิด Cold Joint ระหว่างชั้นคอนกรีตที่เทก่อนกับชั้นที่เททับ



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

● ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการก่อตัว

เวลาการก่อตัวของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ ประการที่สำคัญ ซึ่งส่งผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เฟสตีในคอนกรีต คือ

1. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต

1.1 ปูนซีเมนต์ : ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ C_3A , C_3S , และ ยิบซั่ม โดยปูนซีเมนต์ที่มีค่า C_3A และ C_3S ต่ำกว่า และมียิบซั่มสูงกว่า จะทำให้คอนกรีตมีการก่อตัวนานกว่า

1.2 สารผสมเพิ่ม : สารผสมเพิ่มประเภทหน่วงการก่อตัว จะทำให้คอนกรีตมีการก่อตัวนานขึ้น

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

3. สภาพแวดล้อม

3.1 อุณหภูมิของอากาศ : อุณหภูมิอากาศที่ต่ำกว่า คอนกรีตจะมีการก่อตัวนานกว่า

3.2 ความชื้นสัมพัทธ์ : ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่า คอนกรีตจะมีการก่อตัวนานกว่า

4. ความหนาบางของโครงสร้างคอนกรีต : โครงสร้างที่หนากว่าคอนกรีตจะมีการก่อตัวนานกว่า

ในบางกรณีอาจมีปัญหาด้านการก่อตัวผิดปกติของคอนกรีต ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การก่อตัวผิดปกติ (False Set) คือ หลังจากผสมระยะหนึ่ง คอนกรีตจะแข็งตัวชั่วคราว แต่พอผสมต่อไป ก็จะเหลวเหมือนคอนกรีตปกติ สาเหตุเกิดจากโมเลกุลของน้ำในยิบซั่มถูกดึงออกไปในกระบวนการบด ดังนั้นเมื่อเริ่มผสมยิบซั่มนี้จะดึงน้ำบางส่วนเพื่อคืนตัวเป็นยิบซั่มอย่างเดิม โดยเริ่มจับเป็นกลุ่มแล้วค่อย ๆ กระจายตัวออก จึงทำให้เกิดการแข็งตัวชั่วคราวหนึ่ง

2. การก่อตัวเร็ว (Flash Set) ลักษณะการก่อตัวจะเกิดขึ้นเร็วมากและจะไม่คืนกลับสู่สภาพเหลวอีก กรณีเช่นนี้จะเกิดเมื่อมีส่วนผสมของ Calcium Aluminate หรือ Monosulfo Aluminate มากเกินไป

● การทดสอบเวลาการก่อตัว

นิยมทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 403



รูปที่ 12-22 คอนกรีตไม่แข็งตัวหรือมีเนื้อเยื่อ มีสาเหตุมาจากการใช้สารหน่วงการก่อตัวมากเกินไป

12.7 หน่วยน้ำหนัก

หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) คือ คำนวณน้ำหนักของคอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยรวมปริมาตรอากาศด้วย มีประโยชน์สำหรับการคำนวณเปลี่ยนค่าจากปริมาตรให้เป็น คำนวณน้ำหนักหรือจากค่าน้ำหนักให้เป็นปริมาตรเพื่อคำนวณหาค่าน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีต

● ประเภทของคอนกรีตตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

คอนกรีตทั่วไป (Normal Weight Concrete)

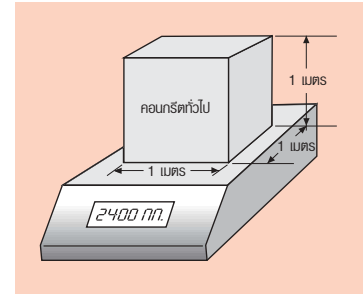
คือ คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักประมาณ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (หรืออยู่ในช่วง 2,200 - 2,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป เช่น บ้าน, อาคาร, และถนน เป็นต้น

คอนกรีตเบา (Lightweight Concrete)

คือ คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 300 ถึง 1,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นิยมนำไปใช้ในการก่อสร้างตั้งแต่ทำเป็นฉนวนกันความร้อนถึงใช้เป็นชิ้นส่วนของโครงสร้าง โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดน้ำหนักของอาคาร

คอนกรีตหนัก (Heavyweight Concrete)

คือ คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักมากกว่า 3,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยทั่วไป นิยมใช้สำหรับงานโครงสร้างป้องกันรังสีหรือกัมมันตภาพรังสี



รูปที่ 12-23 คอนกรีตโดยทั่วไป มีหน่วยน้ำหนักประมาณ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

● ปัจจัยที่มีผลต่อหน่วยน้ำหนัก

1. ปริมาณอากาศในคอนกรีต

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

2. ชนิดและสัดส่วนของมวลรวมในส่วนผสมคอนกรีต

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

3. อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

ถ้าคอนกรีตมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่า คอนกรีตจะมีเนื้อแน่นกว่า และมีหน่วยน้ำหนักสูงขึ้นตามไปด้วย

● การทดสอบหน่วยน้ำหนัก

นิยมทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 138



12.8 ปริมาณอากาศ

ปริมาณอากาศ (Air Content) คือ สัดส่วนของปริมาตรอากาศที่มีอยู่ภายในคอนกรีตต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีตนั้น

งานก่อสร้างบางประเภท เช่น งานก่อสร้างพื้นห้องเย็น มีข้อกำหนดให้ใช้คอนกรีตที่มีปริมาณอากาศ 3 - 5% จึงจำเป็นต้องตรวจสอบว่าปริมาณอากาศในคอนกรีตเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่ ทั้งนี้เพราะในการใช้งานห้องเย็น ที่จุดเยือกแข็ง (Freezing) น้ำในโพรงคาพิลลารี (Capillary Pores) ในคอนกรีตจะเริ่มเปลี่ยนเป็นน้ำแข็งซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้น จึงเกิดการขยายตัวจนเต็ม แล้วน้ำส่วนเกินจะถูกผลักดันไปยังโพรงอากาศ (Air Voids) ผ่านทางเนื้อซีเมนต์เพสต์ ความดันที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการไหลของน้ำจากโพรงคาพิลลารีไปยังโพรงอากาศ ถ้าความดันมีค่ามากอาจส่งผลทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ การใส่สารกระจายกักฟองอากาศจะเป็นการเพิ่มโพรงอากาศให้กระจายอยู่ทั่วเนื้อคอนกรีตและมีปริมาณมากเพียงพอ ทำให้น้ำจากโพรงคาพิลลารีสามารถไหลไปยังโพรงอากาศได้สะดวกขึ้น ดังนั้นความดันภายในคอนกรีตจึงลดลงขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นน้ำในโพรงอากาศจะละลาย (Thawing) และไหลกลับเข้าสู่เนื้อซีเมนต์เพสต์ทำให้คอนกรีตสามารถคงทนอยู่ในสภาวะที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งได้อย่างต่อเนื่อง

ปริมาณอากาศในคอนกรีตถ้ามีน้อยกว่าข้อกำหนด จะไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ด้านความคงทน แต่ถ้ามีมากเกินไป จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลง

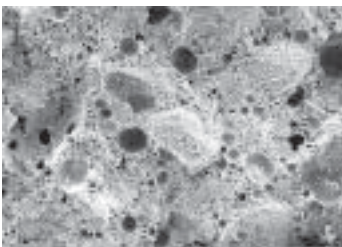
● ประเภทและผลกระทบของโพรงอากาศ (Air Voids) ในคอนกรีต

1. โพรงอากาศของน้ำที่ถูกกักไว้ (Entrapped Air Voids)

โพรงอากาศชนิดนี้จะมีขนาดใหญ่ (อาจมีขนาดใหญ่ถึง 3 มิลลิเมตร) โดยเฉพาะโพรงอากาศที่อยู่ใต้มวลรวมหยาบและเหล็กเสริม โดยจะเกิดมากในบริเวณที่ทำการจี้เขย่าคอนกรีตไม่ดีเพียงพอ ทำให้ภายหลังการจี้เขย่ายังคงเหลือน้ำและฟองอากาศส่วนหนึ่งถูกกักอยู่ใต้เม็ดหินหรือกรวดหรือเหล็กเสริมหรือเกิดจากมีน้ำส่วนเกินในส่วนผสมมากเกินไป เมื่อคอนกรีตแข็งตัวและน้ำระเหยออกไปแล้ว ก็จะเกิดเป็นโพรงอากาศขึ้นในเนื้อคอนกรีต ทำให้ความตึงน้ำ ความแข็งแรง และความคงทนของคอนกรีตลดลง

2. ฟองอากาศที่ถูกกักกระจาย (Entrained Air Voids)

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



รูปที่ 12-24 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของฟองอากาศที่ถูกกักกระจายอยู่ในเนื้อคอนกรีต

● ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณอากาศ

1. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต
2. ส่วนผสมคอนกรีต
3. การจี้เขย่าคอนกรีต

การลดช่องว่างนี้ทำได้โดยการเลือกใช้มวลรวมที่มีส่วนคละดี ออกแบบคอนกรีตให้มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ต่ำ เลือกใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่มีประสิทธิภาพ คอนกรีตสดมีความเหลวพอที่จะจี้เขย่าเข้าแบบได้ง่าย และที่สำคัญที่สุด คือ ต้องมีการจี้เขย่าคอนกรีตอย่างถูกต้องและเพียงพอ

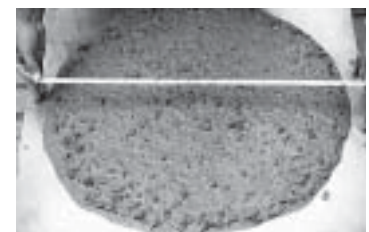
● การทดสอบปริมาณอากาศ

นิยมทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 231

12.9 คุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ดี

คอนกรีตสดที่ดี ควรมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังใน ตารางที่ 12-6

คุณสมบัติ	คำอธิบาย
1. การผสม	<ul style="list-style-type: none"> • ผสมได้เพียงพอจนมีเนื้อสม่ำเสมอเหมือนกันทุกส่วน
2. ความสามารถเทได้	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อลำเลียงหรือจัดส่งคอนกรีตสดถึงจุดเท คอนกรีตสดยังคงมีความสามารถเทได้เหมาะกับการใช้งาน สามารถไหลเข้าแบบหล่อทุกซอกทุกมุมอย่างสมบูรณ์ ด้วยวิธีการเทและการอัดแน่นหรือการจี้เขย่าที่ถูกต้อง
3. ความต้านทานต่อการแยกตัว	<ul style="list-style-type: none"> • มีความต้านทานต่อการแยกตัวสูง ไม่เกิดการแยกตัวในระหว่างการลำเลียงและในขณะเทคอนกรีต • สำหรับคอนกรีตที่เทด้วยปั๊มคอนกรีตควรมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ต้องไม่แยกตัวเมื่อถูกแรงอัดจากปั๊ม และไหลในท่อได้สะดวก
4. ไม่เกิดการเยิ้มมากเกินไป	<ul style="list-style-type: none"> • ไม่เกิดการเยิ้มมากเกินไป จนทำให้การแต่งผิวหน้าไม่สะดวก และมีผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว
5. เวลาการก่อตัว	<ul style="list-style-type: none"> • มีเวลาในการก่อตัวนานพอที่จะสามารถทำงานได้ทัน
6. อุณหภูมิ	<ul style="list-style-type: none"> • มีอุณหภูมิพอเหมาะไม่สูงเกินไป จนมีผลกระทบต่อความสามารถเทได้ และเวลาการก่อตัว
7. ฟองอากาศ	<ul style="list-style-type: none"> • มีปริมาณฟองอากาศพอเหมาะ ซึ่งมีผลต่อความสามารถเทได้
8. คุณสมบัติอื่นๆ ตามลักษณะการใช้งาน	<ul style="list-style-type: none"> • สำหรับคอนกรีตที่ใช้ฐานรากขนาดใหญ่ ควรมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ มีค่ายุบตัวสูง, มีการสูญเสียค่ายุบตัวช้า, และใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำ เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน



รูปที่ 12-25 คอนกรีตสดที่ดี จะต้อง มีเนื้อสม่ำเสมอเหมือนกันทุกส่วน มีความสามารถเทได้ดี โดยไม่เกิดการแยกตัวขึ้น และไม่เกิดการเยิ้มมากเกินไป และมีเวลาการก่อตัวนานพอที่จะสามารถทำงานได้ทัน

ตารางที่ 12-6 คุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ดี



12.10 การทดสอบคอนกรีต

การทดสอบคอนกรีตมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่าส่วนผสมคอนกรีตที่ได้รับการออกแบบไว้นั้น มีคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ค่ายุบตัว, เวลาการก่อตัว, ปริมาณอากาศ ตามที่ ต้องการหรือไม่ การทดสอบแต่ละอย่างที่จะกล่าวต่อไปนี้ ผู้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะ เลือกทดสอบเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานเท่านั้น

12.10.1 การเตรียมและการผสมคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ

- มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 192

Standard Practice for

Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

- ขอบข่าย

ส่วนหนึ่งของข้อปฏิบัตินี้ครอบคลุมวิธีการผสมคอนกรีตในห้องปฏิบัติการภายใต้การ ควบคุมวัสดุที่ถูกต้อง

- ความสำคัญและการใช้งาน

1. เพื่อใช้เป็นข้อปฏิบัติมาตรฐานในการจัดเตรียมวัสดุและการผสมคอนกรีตภายใต้ สภาพห้องปฏิบัติการ
2. ใช้คอนกรีตสดที่ได้นี้ในการพัฒนาข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ได้แก่ ส่วน ผสมคอนกรีตสำหรับโครงการก่อสร้าง, การประเมินผลส่วนผสมและวัสดุที่ แยกต่างหาก, ความสัมพันธ์กับการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Tests), และการจัดเตรียมตัวอย่างเพื่อวัตถุประสงค์ในการวิจัยและพัฒนา



ก) เครื่องผสมแบบลูกช้าง

- เครื่องผสม

โดยทั่วไปเครื่องผสมที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมี 2 ลักษณะ คือ

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



ข) เครื่องผสมแบบกระทะ

รูปที่ 12-26 ลักษณะเครื่องผสม คอนกรีตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- วิธีการเตรียมวัสดุผสมคอนกรีต

หลังจากออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว นำส่วนผสมที่ได้มาทำการชั่งน้ำ หนักปูนซีเมนต์, มวลรวมหยาบ, มวลรวมละเอียด, สารผสมเพิ่มชนิดผง, และวัดปริมาณน้ำ และน้ำยา ตามส่วนผสมคอนกรีต โดยต้องคำนวณปรับน้ำหนักของมวลรวมตามค่าความชื้น ในสภาพที่เป็นจริง เสร็จแล้วนำวัสดุตั้งกล่าวเทใส่เครื่องผสม

● วิธีการผสมคอนกรีต

ก่อนที่จะผสมคอนกรีตใช้จริง ควรผสมมอร์ตาร์เคลือบผิวภายในเครื่องผสมก่อน เพื่อลดการสูญเสียมอร์ตาร์ที่ติดอยู่ที่ผิวภายในเครื่องผสมภายหลังการเทคอนกรีตสดที่ผสมเสร็จแล้วออกมาจากเครื่องผสม

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

วิธีการผสมคอนกรีตด้วยเครื่องผสมตามมาตรฐาน มีดังนี้

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



รูปที่ 12-27 การเทน้ำซึ่งได้ผสมกับน้ำยาก่อนแล้วลงในเครื่องผสมซึ่งได้ใส่หินทราย และปูนซีเมนต์ก่อนแล้ว

12.10.2 การวัดอุณหภูมิ

วัดอุณหภูมิอากาศ และวัดอุณหภูมิของคอนกรีต บันทึกเป็นข้อมูลไว้ใช้ในการวิเคราะห์ ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น ความสามารถเทได้, และเวลาการก่อตัว เป็นต้น

12.10.3 การทดสอบค่ายุบตัว

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 143

Standard Test Method for

Slump of Hydraulic Cement Concrete



รูปที่ 12-28 การวัดอุณหภูมิของคอนกรีต เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ร่วมกับคุณสมบัติอื่น ๆ ของคอนกรีต



● ขอบข่าย

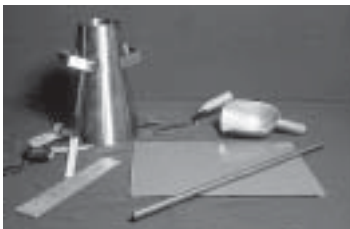
วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการหาค่ายุบตัวของคอนกรีตทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม

● สรุปวิธีการทดสอบ

เทและอัดแน่นตัวอย่างคอนกรีตสดในแบบรูปโคนหรือรูปกรวยตัดด้วยเหล็กตัดแบบโคนขึ้น คอนกรีตจะยุบตัวลง วัตถุประสงค์ของศูนย์กลางของผิวบนของคอนกรีตระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดที่เคลื่อนที่ไป และรายงานเป็นค่ายุบตัวของคอนกรีต

● ความสำคัญและการใช้งาน

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



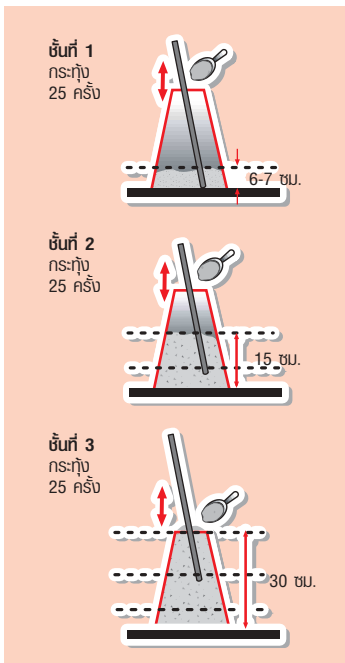
รูปที่ 12-29 อุปกรณ์ทดสอบค่ายุบตัว

● อุปกรณ์

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

● วิธีการทดสอบ

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



รูปที่ 12-30 ปริมาณคอนกรีตที่ใส่ในแบบรูปโคนและการตัก

ให้พื้นขอบจนเต็มแล้วกระทั่งให้ทะลุคอนกรีตชั้นที่ 2 เล็กน้อย ปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ รวมทั้งทำความสะอาดบริเวณแบบและแผ่นเหล็กทรง

4. ดึงแบบรูปโคนขึ้นตรง ๆ โดยไม่หมุนหรือเอียง
5. วางแบบรูปโคนลงข้าง ๆ คอนกรีต แล้ววัดค่ายุบตัวของคอนกรีต

ค่ายุบตัว (Slump) คือ ค่าที่คอนกรีตยุบตัวลงจากเดิม โดยวัดที่จุดกึ่งกลางของคอนกรีตที่ยุบตัว ในการวัดให้วัดละเอียดถึง 0.5 เซนติเมตร



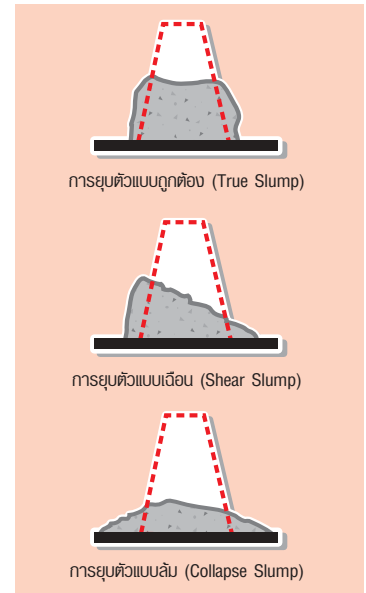
รูปที่ 12-31 การวัดค่ายุบตัว

● รูปแบบของการยุบตัว

รูปแบบของการยุบตัวของคอนกรีตโดยทั่วไปมี 3 รูปแบบ คือ

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

ถ้าหากคอนกรีตมีการยุบตัวแบบเฉือน หรือแยกตัวเพราะเหลวมากเกินไป ให้ทำการทดสอบใหม่โดยใช้คอนกรีตที่ยังไม่ได้ใช้ในการทดสอบถ้าหากทำการทดสอบอย่างถูกวิธีทั้งสองครั้งติดต่อกันแล้ว คอนกรีตยังมีการยุบตัวแบบเฉือนหรือแยกตัวอยู่ แสดงว่าการทดสอบค่ายุบตัวอาจไม่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตนี้



รูปที่ 12-32 รูปแบบของการยุบตัว

● ค่าคลาดเคลื่อนของค่ายุบตัว

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



รูปที่ 12-33 การเทคอนกรีตงานถนนโดยทั่วไป ใช้คอนกรีตที่มีค่ายุบตัว 7.5 ± 2.5 เซนติเมตร

● ค่ายุบตัวสำหรับงานคอนกรีต

ค่ายุบตัวสำหรับงานคอนกรีตประเภทต่าง ๆ แสดงอยู่ใน ตารางที่ 12-7

12.10.4 การทดสอบการสูญเสียค่ายุบตัว

● วิธีทดสอบ

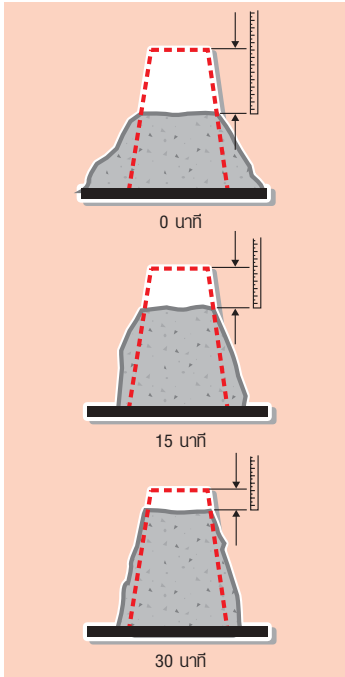
ทดสอบด้วยวิธีการเดียวกับการทดสอบค่ายุบตัว โดยจะทำการทดสอบค่ายุบตัวตามเวลาที่กำหนดนับจากเวลาที่ทดสอบหาค่ายุบตัวครั้งแรก



รูปที่ 12-34 การเทคอนกรีตงานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ คอนกรีตควรมีค่ายุบตัวมากกว่า 15 เซนติเมตร

● ความสำคัญและการใช้งาน

เพื่อดูว่าคอนกรีตมีค่ายุบตัวลดลงตามเวลาอย่างไร



รูปที่ 12-35 การสูญเสียค่ายุบตัว

ประเภทของงานคอนกรีต	ค่ายุบตัว (เซนติเมตร)
งานพื้นสนามบิน	5.0 ± 2.5
งานคอนกรีตทั่วไป <ul style="list-style-type: none"> • พื้น และถนน • เสา คาน พัง และกำแพง 	7.5 ± 2.5 10.0 ± 2.5
งานฐานรากทั่วไป งานคอนกรีตบีบทั่วไป งานเสาเข็มเจาะขนาดเล็กหรือระบบแห้ง	10.0 ± 2.5
งานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่หรือระบบเปียก งานเทคอนกรีตใต้น้ำ งานฐานรากแบบขนาดใหญ่ งานที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	มากกว่า 15.0

ตารางที่ 12-7 ค่ายุบตัวสำหรับงานคอนกรีตประเภทต่าง ๆ โดยทั่วไป

● เครื่องมือและอุปกรณ์

ใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกันกับการทดสอบค่ายุบตัว

● วิธีการทดสอบ

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

12.10.5 การทดสอบการเยิ้ม

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 232
Standard Test Methods for
Bleeding of Concrete

● ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการหาปริมาณสัมพัทธ์ของน้ำผสมคอนกรีตที่เยิ้มขึ้นมา จากตัวอย่างคอนกรีตสด

● สรุปวิธีการทดสอบ

ตัดตัวอย่างคอนกรีตใส่ในถังมาตรฐานและใส่ฟองอากาศออกตามวิธีการที่กำหนด ปล่อยให้แห้ง วัสดุปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นตามเวลาที่กำหนด บันทึกค่า และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของคอนกรีต

● ความสำคัญและการใช้งาน

วิธีการทดสอบนี้เป็นวิธีการที่ใช้เพื่อหาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อความชื้นของคอนกรีต เช่น ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีตชนิดต่าง ๆ, วิธีการทำงาน, และสภาพแวดล้อม เป็นต้น และยังสามารถใช้หาความสัมพันธ์กับข้อกำหนดปริมาณการเพิ่มที่ต้องการอีกด้วย

● เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถังเหล็กรูปทรงกระบอก มีปริมาตรประมาณ 14 ลิตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 25.5 ± 0.5 เซนติเมตร สูง 28.0 ± 0.5 เซนติเมตร และหนา 2.67 - 3.40 มิลลิเมตร

2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. กระบอกแก้วที่มีความจุ 100 มิลลิลิตร
4. เหล็กค้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 เซนติเมตร
5. ลูกยาง, เกรียงเหล็ก, ค้อนยาง, และช้อนตัก
6. ปีกเกอร์โลหะ (อาจมีหรือไม่ก็ได้)
7. เครื่องชั่งที่สามารถวัดได้ละเอียดถึง 1 กรัม (อาจมีหรือไม่ก็ได้)
8. ตู้อบหรือเตาไฟฟ้า (อาจมีหรือไม่ก็ได้)

● วิธีการทดสอบ

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



รูปที่ 12-36 อุปกรณ์ทดสอบการเพิ่ม



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

● การคำนวณ

1. การคำนวณค่าปริมาตรการเยิ้มต่อพื้นที่ผิวหน้าคอนกรีต

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

2. การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่เยิ้มต่อน้ำที่ใช้ในการผสม

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

W = น้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตในเบ้าชั่งการผสม, กิโลกรัม

w = น้ำหนักน้ำผสมคอนกรีตในเบ้าชั่งการผสม (ไม่รวมน้ำที่มวลรวมดูดซึมไว้ภายใน), กิโลกรัม

S = น้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตในถัง, กรัม

D = น้ำหนักของน้ำเยิ้ม, กรัม

12.10.6 การทดสอบเวลาการก่อตัว

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 403

Standard Test Method for

Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance

● ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการหาเวลาการก่อตัวของคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวมากกว่า ศูนย์ โดยวิธีการวัดความต้านทานต่อการกด (Penetration Resistance) ของมอร์ตาร์ที่ได้จากการร่อนส่วนผสมคอนกรีตผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐาน

● สรุปวิธีการทดสอบ

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

● ความสำคัญและการใช้งาน

1. เวลาที่มอร์ตาร์มีค่าความต้านทานต่อการกดตามค่าที่กำหนด ได้รับการนิยามไว้ใช้เป็นค่าเวลาการก่อตัวของคอนกรีต
2. วิธีการทดสอบนี้สามารถใช้หาผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อเวลาการก่อตัวของคอนกรีต เช่น ปริมาณน้ำ, ชนิดและปริมาณของวัสดุประสาน, และชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่ม เป็นต้น และยังอาจใช้หาความสัมพันธ์กับข้อกำหนดเวลาการก่อตัวที่ต้องการอีกด้วย

● เครื่องมือและอุปกรณ์

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

● วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างคอนกรีตมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4
2. ใช้เหล็กดำให้ทั่วพื้นที่ แล้วใช้ค้อนยางตีข้างๆ แบบ เพื่อไล่ฟองอากาศออกจากส่วนผสมให้เหลือน้อยที่สุด
3. วัดอุณหภูมิ
4. ปาดผิวหน้าให้เรียบ
5. วางทิ้งไว้ เมื่อมีน้ำลอยขึ้นมาให้ใช้ลูกยางดูดน้ำออก
6. ยกแบบวางบนเครื่องทดสอบที่ใส่หั่วกดไว้เรียบร้อยแล้วให้หั่วจมในเนื้อมอร์ตาร์ 2.5 เซนติเมตร จดค่าน้ำหนักที่ขึ้นบนสเกลของเครื่องทดสอบ เวลาตั้งแต่เริ่มผสมจนถึงเวลากด และขนาดของหั่วกดที่ใช้ซึ่งมีให้เลือกตั้งแต่ขนาดพื้นที่ 1, 1/2, 1/4, 1/10, 1/20, และ 1/40 ตารางนิ้ว ในการทดสอบจะเลือกหั่วกดให้เหมาะสมกับสภาพมอร์ตาร์สด โดยในช่วงแรกจะใช้หั่วกดขนาดใหญ่ก่อน และเมื่อเวลาผ่านไปมอร์ตาร์เริ่มก่อตัวมากขึ้น จะเลือกหั่วกดขนาดเล็กลง ในการทดสอบต้องหาแรงต้านทานอย่างน้อย 6 จุด เพื่อนำมาเขียนกราฟ



รูปที่ 12-37 อุปกรณ์ทดสอบเวลาการก่อตัว



รูปที่ 12-38 การทดสอบเวลาการก่อตัว



● การคำนวณ

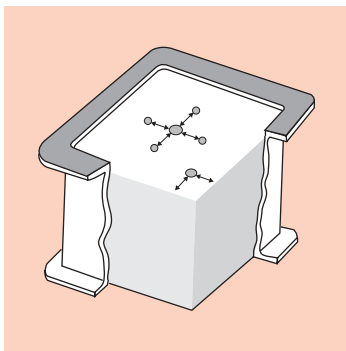
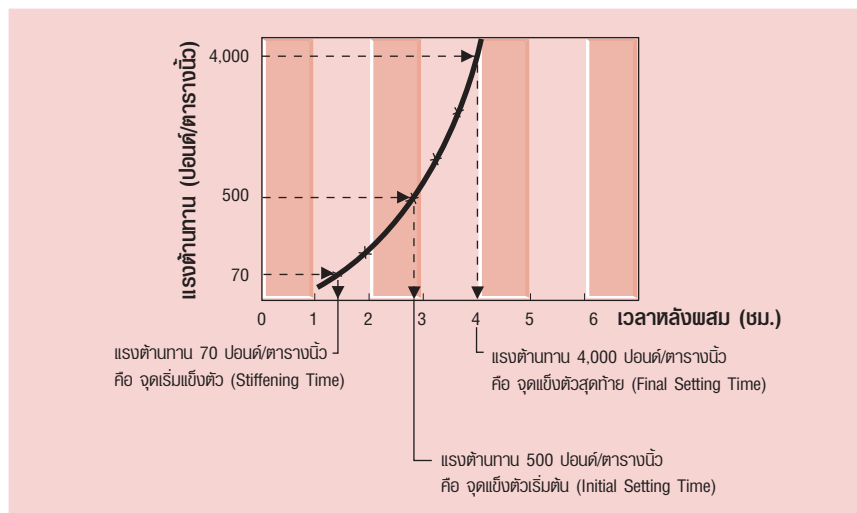
$$\text{แรงต้านทาน} = \frac{\text{น้ำหนักที่อ่านได้จากสเกล}}{\text{พื้นที่หัวกด}}$$

● การเขียนกราฟ

เมื่อได้ค่าแรงต้านทานและเวลาหลังจากผสม นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟ

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

ลงจุดที่ได้และลากเส้นกราฟ นำกราฟมาหาค่าเวลาการก่อตัวของคอนกรีต



รูปที่ 12-40 ระยะช่องว่างของการทดสอบเวลาการก่อตัว

รูปที่ 12-39 กราฟแสดงวิธีการหาเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

● ข้อควรระวัง

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

12.10.7 การทดสอบหน่วยน้ำหนัก

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 138

Standard Test Method for

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

● ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการหาความหนาแน่นของคอนกรีตสด

● ความสำคัญและการใช้งาน

มีประโยชน์สำหรับการคำนวณเปลี่ยนค่าจากปริมาตรให้เป็นค่าน้ำหนักหรือจากค่าน้ำหนักให้เป็นปริมาตร เพื่อดำเนินการหาค่าน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีต

● เครื่องมือและอุปกรณ์

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



รูปที่ 12-41 อุปกรณ์ทดสอบหน่วยน้ำหนัก

● วิธีการทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักถังเปล่าแล้วบันทึกค่า
2. เติมน้ำให้เต็มถังแล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาตรของถัง โดยคำนวณจากปริมาตรของถัง $[V_c] = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่ชั่งได้}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำ}}$
3. อัดแน่นคอนกรีตโดยวิธีการต่า เมื่อคอนกรีตมีค่ายุบตัวเกิน 7.5 เซนติเมตร, ต่าหรือจี๋เขย่า เมื่อคอนกรีตมีค่ายุบตัว 2.5 - 7.5 เซนติเมตร, และอัดแน่นโดยวิธีการจี๋เขย่า เมื่อคอนกรีตมีค่ายุบตัวน้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร
4. กรณีการต่า : ตักคอนกรีตใส่ลงในถัง โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่า ๆ กันโดยประมาณ แต่ละชั้นต่า 25 ครั้ง แล้วเคาะด้านข้างภาชนะด้วยค้อนยาง 10 - 15 ครั้งต่อชั้น การต่าสองชั้นบน ให้ต่าทะลุผ่านชั้นข้างใต้ 2.5 เซนติเมตร (1 นิ้ว)
5. กรณีการจี๋เขย่าภายใน : ตักคอนกรีตใส่และจี๋เขย่า โดยแบ่งเป็น 2 ชั้นเท่า ๆ กันโดยประมาณ จี๋เขย่า 3 จุดต่อชั้น การจี๋เขย่าชั้นบนสุด ให้ทะลุผ่านชั้นข้างใต้ 2.5 เซนติเมตร (1 นิ้ว)
6. ใช้เหล็กปาดหน้าคอนกรีตให้เรียบ ทำความสะอาดข้างถัง
7. นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกน้ำหนักที่ได้ $[W_c]$

● การคำนวณ

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



12.10.8 การทดสอบปริมาณอากาศ

● มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 231

Standard Test Method for

Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method

● ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการหาปริมาณอากาศของคอนกรีตสด จากการสังเกต การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความดัน

● ความสำคัญและการใช้งาน

ใช้หาปริมาณอากาศในคอนกรีตสด โดยไม่รวมอากาศที่อาจอยู่ภายในช่องว่าง ภายในอนุภาคมวลรวม



รูปที่ 12-42 อุปกรณ์ทดสอบปริมาณอากาศ

● เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แอร์มิเตอร์
2. เทลิกต้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 เซนติเมตร
3. ซ้อนดัก, ค้อนยาง, ลูกยาง, ภาชนะใส่น้ำ, และแผ่นเหล็กปิดหน้า

● วิธีการทดสอบ

1. นำอุปกรณ์ทั้งหมดไปจุ่มน้ำให้เปียก แล้วใช้ผ้าซับผิวอุปกรณ์ที่เปียกให้แห้ง
2. ตักคอนกรีตใส่ลงในแอร์มิเตอร์ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่า ๆ กันโดยประมาณ ในแต่ละชั้นตัก 25 ครั้งด้วยเทลิกต้า
3. ใช้ค้อนยางเคาะผิวด้านข้างของแอร์มิเตอร์โดยรอบ 10 - 15 ครั้ง เพื่อไล่อากาศ ในคอนกรีตออกให้หมด
4. ใช้แผ่นเหล็กปิดหน้าคอนกรีตให้เรียบ ทำความสะอาดบริเวณขอบแอร์มิเตอร์ ปิดฝาแล้วขันสกรูให้แน่น
5. เปิดวาล์วสำหรับใส่น้ำทั้งสองข้าง ใช้ลูกยางดูดน้ำใส่จนเต็ม โดยสังเกตจากน้ำ ที่ไหลออกมาอีกด้านหนึ่ง เมื่อน้ำเต็มจึงปิดวาล์ว
6. อัดอากาศเข้าไปในหม้อลมที่อยู่บริเวณฝาปิดจนเต็ม โดยสังเกตจากหน้าปิด ของเครื่อง เข็มจะชี้ที่เลขศูนย์
7. กดปุ่มอัดอากาศ แล้วใช้ค้อนยางเคาะผิวด้านข้างของแอร์มิเตอร์เบา ๆ
8. อ่านค่าปริมาณอากาศจากหน้าปิด แล้วบันทึกค่า

● การประเมินผล

ในการหาปริมาณอากาศควรทำสองครั้ง และค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณอากาศที่ได้ จากทั้งสองครั้ง ต้องแตกต่างกันไม่เกิน 0.2% นำค่าที่ได้ทั้งสองมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยที่ได้ คือค่าปริมาณอากาศในคอนกรีต

มาตรฐานอ้างอิง

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

เอกสารอ้างอิง

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