บทที่ 2
หลักการ และทฤษฎี

2.1 คอนกรีต

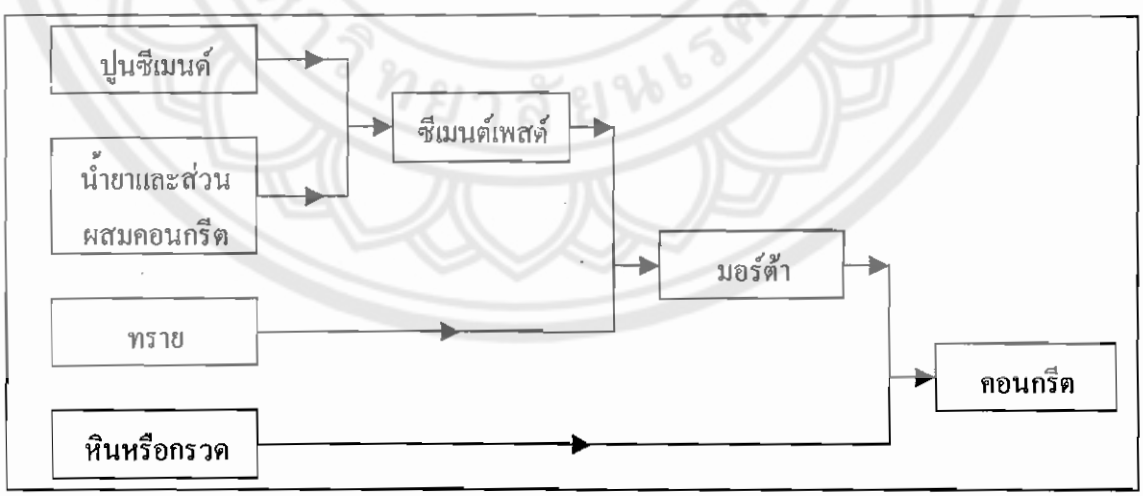
คอนกรีต (Concrete) คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติหลายประการที่เหมาะสม อาทิเช่น สามารถหล่อขึ้นรูปร่างตามที่ต้องการได้, มีความคงทนสูง, ไม่ติดไฟ, สามารถเทหล่อได้ในสถานที่ก่อสร้าง, ตกแต่งผิวให้สวยงามได้, และที่สำคัญ คือ มีราคาไม่แพง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

2.1.1 องค์ประกอบของคอนกรีต

โดยทั่วไป คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสมพื้นฐาน 2 ส่วน คือ

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

เมื่อนำส่วนผสมต่างๆ เหล่านี้มาผสมกัน จะได้คอนกรีตที่คงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการได้ เรียกคอนกรีตในสภาพนี้ว่า "คอนกรีตสด (Fresh Concrete)" หลังจากนั้นคอนกรีตจะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งในเวลาต่อมา โดยจะมีกำลังหรือความแข็งแรงมากขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น และเมื่อมีคุณสมบัติผ่านข้อกำหนดงานคอนกรีตตามที่ออกแบบไว้ จึงจะสามารถเปิดใช้งานรับน้ำหนักได้ต่อไป เรียกคอนกรีตภายหลังจากเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งแล้วนี้ว่า "คอนกรีตแข็งตัวแล้ว (Hardened Concrete)"



รูปที่ 2.1 การเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆ ของคอนกรีต

2.1.2 หน้าที่และคุณสมบัติของส่วนผสม

1. ซีเมนต์เพสต์

หน้าที่ของซีเมนต์เพสต์มีดังนี้	คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ขึ้นอยู่กับ
- เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม - หล่อลื่นคอนกรีตสดขณะเทหล่อ - ให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำ	- คุณภาพของปูนซีเมนต์ - อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ - ความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์หรือที่เรียกว่า "ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น"

2. มวลรวม

หน้าที่ของมวลรวมมีดังนี้	คุณสมบัติของมวลรวมที่สำคัญ
- เป็นตัวแทรกประสานที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์ และมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ - ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก	- มีความแข็งแรง - การเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่ำ - คงทนต่อปฏิกิริยาเคมี - มีความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี

3. น้ำ

หน้าที่หลักของน้ำสำหรับงานคอนกรีตมี 3 ประการ คือ	หน้าที่หลักของน้ำในฐานะที่ใช้ผสมทำคอนกรีตยังแบ่งได้อีก 3 ประการ
- ใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ - ใช้ผสมทำคอนกรีต - ใช้บ่มคอนกรีต	- ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับปูนซีเมนต์ - ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้ - เคลือบมวลรวม (หินหรือกรวด และทราย) ให้เปียก เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์สามารถเข้าเกาะได้โดยรอบ

4. สารผสมเพิ่ม

หน้าที่สำคัญของสารผสมเพิ่ม คือ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตสดหรือคอนกรีตแข็งตัวแล้วในด้านต่างๆ เช่น เวลาการก่อตัว, ความสามารถเทได้, กำลังอัด, และความคงทน เป็นต้น

2.1.3 ข้อดีและข้อเสียของคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้กันอย่างมากเนื่องจากความสามารถในการนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง แต่การนำคอนกรีตไปใช้งานก็ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดบางประการด้วยดังในตารางที่ 8-2 ซึ่งได้สรุปข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของคอนกรีตไว้

ตารางที่ 2.1 ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของคอนกรีต

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

2.1.4 คอนกรีตที่ดีกับคอนกรีตที่ไม่ดี

คอนกรีตที่ดี คือ คอนกรีตที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตสดและคอนกรีดแข็งตัวแล้วเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานตามต้องการ และมีต้นทุนหรือราคาที่เหมาะสม

ในสภาพคอนกรีตสด (ภายหลังการผสม, การลำเลียงคอนกรีตจากเครื่องผสมไปยังจุดเท, การเทลงบนแบบหล่อและการอัดแน่น, และการแต่งผิวหน้า) ควรมีความข้นเหลวเหมาะสมกับการเทและการอัดแน่นคอนกรีต โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากเครื่องจักรหรือแรงงานคนมากนัก มีเนื้อคอนกรีตสม่ำเสมอ มีการยึดเกาะกันอย่างเพียงพอ ไม่มีการแยกตัวขององค์ประกอบต่างๆ ในคอนกรีต (เช่น การแยกตัวของหินหรือกรวดกับน้ำปูน) และไม่เกิดการเยิ้มขึ้นของน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีตมากเกินไป

ในสภาพคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ควรมีความแข็งแรงและความคงทน สามารถรับน้ำหนักหรือมีกำลังอัดตามที่ออกแบบไว้ได้อย่างปลอดภัยตลอดช่วงอายุการใช้งาน และควรมีคุณสมบัติอื่นๆ ที่ดีอีกด้วย เช่น ความหนาแน่น, กำลังดัด, กำลังดึง, การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง, ความทึบน้ำ, ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี, และความคงทนต่อการกัดกร่อนจากสารซัลเฟต เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆ นอกจากนี้บางโครงสร้างยังต้องการผิวคอนกรีตที่เรียบและมีช่องว่างอากาศที่ผิวคอนกรีตเรียบและมีช่องว่างอากาศที่ผิวน้อยที่สุดอีกด้วย

คอนกรีตที่ไม่ดี คือ คอนกรีตที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน โดยทั่วไปคอนกรีตที่ไม่ดีมักมีความข้นเหลวไม่เหมาะสมกับการใช้งาน และเมื่อแข็งตัวแล้วอาจมีรูโพรงหรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งโครงสร้าง

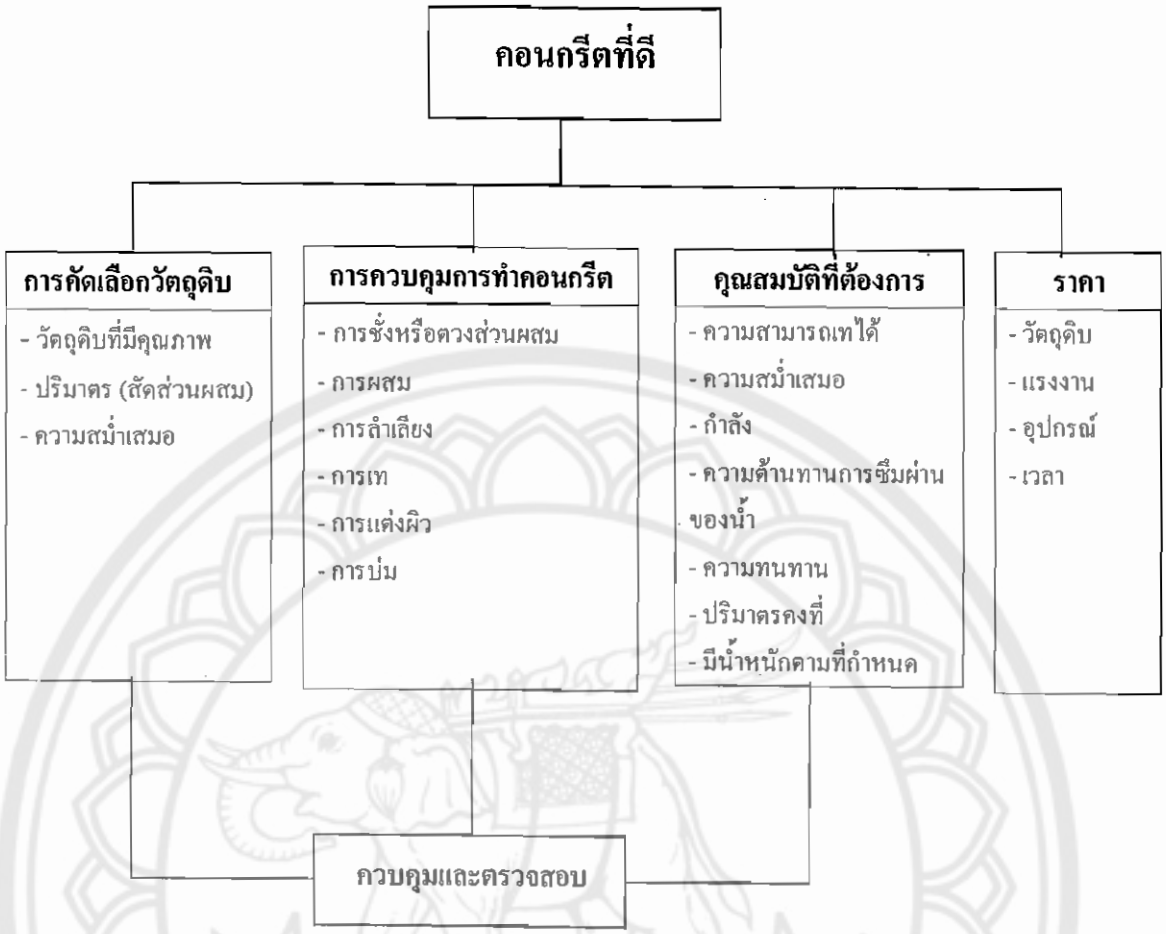
2.1.5 ปัจจัยในการทำคอนกรีตที่ดี

การทำคอนกรีตที่ดีนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้และความเข้าใจทางด้านคอนกรีตเทคโนโลยีขั้นพื้นฐาน ซึ่งจะช่วยทำให้สามารถเลือกใช้วัสดุผสมคอนกรีตได้อย่างเหมาะสม, เลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตได้อย่างถูกต้อง, รวมทั้งการควบคุมกระบวนการผลิตคอนกรีตที่ดีทุกขั้นตอน ทั้งนี้เพื่อจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติดีสม่ำเสมอ, สามารถเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการได้, มีความแข็งแรงและความคงทน, และที่สำคัญ คือ ทำให้มีต้นทุนหรือราคาที่เหมาะสมอีกด้วย

กระบวนการทำคอนกรีตโดยทั่วไปอาจเรียงลำดับขั้นตอนได้ดัง ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 10 ขั้นตอนในการทำคอนกรีตที่ดี

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



รูปที่ 2.2 ปัจจัยในการทำคอนกรีตที่ดี

2.2 วัสดุผสมคอนกรีต

2.2.1 ปูนซีเมนต์

กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ (Cement manufacturing Process) จำแนกตามลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเป็น 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process), และกรรมวิธี การผลิตแบบแห้ง (Dry Process)

2.2.1.1 กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) คือ กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูง เช่น ดินขาว (Marl), และดินเหนียว (Clay) มาบดผสมกันในสภาพที่เปียกและเติมน้ำเพิ่มลงในอัตราส่วนที่พอเหมาะ เพื่อช่วยในการบดผสมวัตถุดิบที่เตรียมเสร็จจะมีน้ำเป็นส่วนผสมประมาณ 30-40% มีลักษณะเหลวและไหลได้เรียกว่า Slurry หลังจากนั้นนำไป ป้อนเข้าหม้อเผา ในสภาพที่มีความชื้นสูง หม้อเผาในกรรมวิธีการแบบเปียกจะต้องใช้ปริมาณความร้อนสูงกว่าหม้อเผาในกรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง เนื่องจากต้องใช้ความร้อนไล่ความชื้น Slurry ออกให้หมดก่อนที่จะเผาต่อเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา

2.2.1.2 กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) คือ กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นปกติ เช่น หินปูน (Limestone), หินดินดาน (Shale), ดินลูกรัง (Laterite), และทราย (Sand) มาบดผสมในสภาพที่แห้งและในระหว่างการบดจะใช้ลมร้อนที่เหลือจากระบบหม้อเผา ช่วยไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จแล้วจะมีลักษณะเป็นผงละเอียดคล้ายแห้งเรียกว่า "วัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal)" หลังจากนั้นนำไปป้อนเข้าหม้อเผา ในสภาพที่แห้งเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา

กรรมวิธีการผลิตแบบเปียกถือว่าเป็นวิธีที่ล้าสมัย เพราะต้องใช้พลังงานความร้อนสูง จึงเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอย่างมาก

ในปัจจุบัน โรงงานปูนซีเมนต์ไทยทุกโรงงาน จึงใช้กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ทันสมัยกว่า เพราะเป็นวิธีที่ใช้พลังงานความร้อนต่ำกว่า จึงช่วยประหยัดเชื้อเพลิงในการเผาได้ดีกว่า และยังสามารถควบคุมองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ได้ง่ายกว่า จึงทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอมากกว่า นอกจากนี้ ยังมีระบบการควบคุมคุณภาพทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เพื่อความมั่นใจว่าจะสามารถผลิตปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ และได้มาตรฐาน

2.2.2 มวลรวม

มวลรวม คือ วัสดุเฉื่อย ที่ใช้เป็นวัสดุแทรกในคอนกรีต เช่น หิน, กรวด, และทราย เป็นต้นซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคอนกรีต เนื่องจากมวลรวมมีปริมาตรถึง 70 – 80% ของปริมาตรคอนกรีตทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่น่าเป็นที่สงสัยเลยว่าทำไมคุณภาพของมวลรวมมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตอย่างมาก จึงมีความจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องให้ความสำคัญกับมวลรวมไม่น้อยไปกว่าปูนซีเมนต์

มวลรวมไม่ได้เป็นเพียงวัสดุเฉื่อยหรือวัสดุแทรกในคอนกรีตเท่านั้น แต่ยังมีความสำคัญอื่นๆ อีกได้แก่

1. ทำให้คอนกรีตมีต้นทุนหรือราคาต่ำลง : การเลือกใช้มวลรวมที่มีคุณภาพดีจะช่วยลดปริมาณปูนซีเมนให้น้อยลง มีผลให้ต้นทุนหรือราคาคอนกรีตลดลง

2. มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีต : คุณสมบัติของมวลรวมเป็นตัวกำหนด หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight), โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity), และความคงตัวของปริมาตร (Volume Stability) ของคอนกรีต

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

ผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด เช่น ความข้นเหลว (consistency), และการยึดเกาะกัน (Cohesion)

2.2.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของมวลรวม

มวลรวม ควรมีคุณสมบัติที่ทำให้คอนกรีตนั้นมีความสามารถเทได้ง่าย แข็งแรง คงทน และมีราคาประหยัด นอกจากนี้ มวลรวมควรจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ

ก. ความแข็งแกร่ง (Strength)

มวลรวมจะต้องมีความสามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังของคอนกรีตที่ต้องการ ซึ่งปกติมวลรวมที่ใช้โดยทั่วไปจะมีความสามารถรับแรงกดได้สูงกว่าคอนกรีตมาก คือ จะรับแรงกดได้ 700-3,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของมวลรวมที่ใช้

ตารางที่ 2.3 กำลังอัดของหิน

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

ข. ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการขัดสี (Impact and Abrasion Resistance)

ความสามารถในการต้านทานต่อแรงกระแทกและการขัดสีของมวลรวม เป็นคุณสมบัติที่สามารถใช้เป็นตัวชี้บอกถึงคุณภาพของมวลรวม และมีความสำคัญมากสำหรับมวลรวมที่ใช้ผสมทำคอนกรีตที่ต้องรับแรงกระแทกหรือการขัดสี เช่น พื้นถนน, พื้นโรงงาน, และพื้นสนามบิน เป็นต้น ดังนั้น มวลรวมที่ใช้งานได้ดี ควรมีความแข็งแรงและมีเนื้อแน่น

ค. ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability)

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

ง. รูปร่างและลักษณะผิว (Particle Shape and Surface Texture)

รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวม มีอิทธิพลต่อสมบัติของคอนกรีตสดมากกว่าคุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว มวลรวมที่มีผิวหยาบ, มีรูปร่างแบน หรือมีรูปร่างยาวเรียว จะทำให้คอนกรีตมีความต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์มากกว่าที่ใช้มวลรวมรูปร่างกลม หรือเหลี่ยม ที่ระดับความสามารถเทได้ (Workability) เดียวกัน

ตามมาตรฐานอังกฤษ มีการกำหนดการทดสอบรูปร่างของมวลรวมไว้ 2 ประการ คือ

- การทดสอบความแบน (Flakiness) คือ การทดสอบหาอัตราส่วนของความกว้างต่อความหนาของมวลรวม
- การทดสอบความยาวเรียว (Elongation) คือ การทดสอบหาอัตราส่วนของความยาวต่อความกว้างของมวลรวม

ตารางที่ 2.4 การแบ่งประเภทและลักษณะของมวลรวม ตาม มอก. 566

การแบ่งประเภท	ลักษณะ	ตัวอย่าง
กลม	เกลี้ยง ไม่มีเหลี่ยม เนื่องจากถูกน้ำกัดเซาะ หรือจากการเสียดสีกันเอง	กรวดทรายจากแม่น้ำหรือชายทะเล
ไม่สม่ำเสมอ หรือมีส่วนกลมอยู่บ้าง	ไม่สม่ำเสมอโดยธรรมชาติ หรือถูกเสียดสีมาบ้าง และมีเหลี่ยมมน	กรวดทรายที่ได้จากบ่อหิน เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากพื้นดินหรือขุดขึ้นมา หินรูปลูกบาศก์
เหลี่ยม	มีเหลี่ยม เกิดจากด้านที่เรียบมาบรรจบกันและเห็นได้ชัด	หินที่ย่อยจากเครื่องโม่ทุกแบบ หินที่ตกตามไหล่เขา
แบน	วัสดุที่มีความหนาไม่มากเมื่อเทียบกับความกว้างหรือความยาว ปกติจะเป็นเหลี่ยมด้วย	หินที่มีลักษณะเป็นชั้น

ตารางที่ 2.5 ลักษณะผิวของมวลรวม ตาม มอก. 566

เนื้อผิว	ตัวอย่าง
ใสคล้ายแก้ว	หินเหล็กไฟดำ
เรียบ	หินเชิร์ต หินชนวน หินอ่อน และหินไรโอไลต์บางชนิด
เป็นเม็ด	หินทราย หินอูไลต์
เป็นผลึก	อย่างละเอียด : บะซอลต์ แทรกไคต์ แกรโนโฟร์ อย่างกลาง : ไดเลอไรต์ แกรโนไฟร์ แกรนูไลต์ ไมโครแกรนิด หินปูนบางชนิด และหินโดโลไมต์ส่วนใหญ่ อย่างหยาบ : แกบโบร ไนส์ แกรนิต แกรดนไดโอไรต์ ไซอีไนต์
เป็นโพรงรวงผึ้งหรือเป็นรูพรุน	สกอเรีย พัมมิซ ทราส

จ. ขนาดคละ

ขนาดคละของมวลรวม มีผลต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด และปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต การทำคอนกรีตที่ดีนั้น แต่ละอนุภาคของมวลรวมจะต้องถูกห่อหุ้มด้วยซีเมนต์เพสต์ไม่ว่ามวลรวมนั้นจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ตาม นอกจากนี้ มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อนำมาผสมรวมกันแล้ว อนุภาคมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าจะต้องบรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่าให้มากที่สุด ซึ่งจะมีผลทำให้ประหยัดซีเมนต์เพสต์ที่จะต้องใช้ยึดมวลรวมกัน รวมทั้งอุดช่องว่างระหว่างมวลรวมเข้าด้วยกัน รวมทั้งอุดช่องว่างระหว่างมวลรวม ดังนั้นการใช้มวลรวมที่มีขนาดคละที่เหมาะสม จึงช่วยทำให้ลดปริมาณซีเมนต์เพสต์ลงและช่วยประหยัดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตได้

2.2.2.2 คุณสมบัติที่ต้องใช้พิจารณาในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ผู้ออกแบบต้องทราบถึงคุณสมบัติของมวลรวม ดังนี้

ก. ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวม

ข. ขนาดคละ

ค. ปริมาณความชื้นและการดูดซึม

ง. ความถ่วงจำเพาะ

จ. หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง

ก. ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวม (Maximum Size of Aggregate)

ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมที่ใช้ พิจารณาได้จากการหาส่วนคละของมวลรวม แล้วดูผลจากเปอร์เซ็นต์ที่ค้างมากกว่าหรือเท่ากับ 15 % ให้ขนาดตะแกรงอันที่ใหญ่ กว่านั้นขึ้นไปอีกชั้นหนึ่งชั้น เป็นขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมนั้น ดังแสดงในตัวอย่าง

พิจารณา ตารางที่ 2.6 จากผลการวิเคราะห์ จะเห็นว่าตะแกรงร่อนใหญ่ที่สุดที่มีมวลรวมค้างบนตะแกรงร่อน (เปอร์เซ็นต์ค้าง) เกิน 15% คือตะแกรงร่อน ½ นิ้ว ขนาดของตะแกรงร่อนที่ใหญ่กว่านี้หนึ่งชั้น คือ ตะแกรงร่อน ¾ นิ้ว ดังนั้นขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมนี้คือ ¾ นิ้ว

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้มีผลโดยตรงกับปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการกล่าว คือ มวลรวมที่มีขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวโดยรวมน้อยกว่ามวลรวมที่ขนาดเล็กเมื่อน้ำหนักของมวลรวมเท่ากัน ดังนั้นมวลรวมขนาดใหญ่จึงต้องการมีปริมาณน้ำและปูนซีเมนต์น้อยกว่า เพื่อให้มีความสามารถในการเทได้เท่ากัน **โดยกำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นถ้าใช้มวลรวมขนาดใหญ่ขึ้น เพราะสามารถลดน้ำหรือลดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ลงได้นั่นเอง**

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรงร่อนเบอร์ต่างๆ

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักที่ค้าง	เปอร์เซ็นต์ค้าง
1"	12	-
¾"	1,384	7
½"	8,031	41
3/8"	8,676	43
เบอร์ 4	573	3
เบอร์ 8	609	3
ถาดรอง	513	3
รวมน้ำหนัก	19,800	100

ผู้ออกแบบจำเป็นต้องตัดสินใจเลือกขนาดใหญ่สุดของมวลรวม โดยมีข้อพิจารณาเลือกดังนี้

1. ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมต้องมีขนาดไม่เกิน 1/5 ของส่วนที่แคบสุดของแบบหล่อ หรือ
2. ขนาดไม่เกิน ¾ ของระยะแคบสุดระหว่างเหล็กเสริม หรือระหว่างเล็กเสริมกับแบบหล่อ หรือ
3. ขนาดไม่เกิน 1/5 ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อคอนกรีตปั๊ม

ข้อกำหนดที่กล่าวมานี้ จะหมายถึง ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ซึ่งจะมีขนาดไม่เกิน 40 มิลลิเมตร

ข. ขนาดคละ (Gradation หรือ Grading)

ขนาดคละ คือ การกระจายของขนาดต่างๆ ของอนุภาคมวลรวม นับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการกำหนดปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการสำหรับคอนกรีต

ขนาดคละมีผลต่อการกำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละดี จะต้องการซีเมนต์เพสต์ที่จะใช้ยึดมวลรวมเข้าด้วยกันและอุดช่องว่างระหว่างมวลรวมน้อยกว่า จึงช่วยประหยัดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต นอกจากนี้ขนาดคละยังมีผลต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีต การทำให้คอนกรีตแน่น และการปาดแต่งผิวหน้าคอนกรีตอีกด้วย

ค. ปริมาณความชื้นและการดูดซึม (Moisture And Absorption)

มวลรวมมีรูพรุนภายในบางส่วนที่ติดต่อกับผิวนอก ดังนั้น มวลรวมจึงสามารถดูดความชื้น นอกจากนี้น้ำบางส่วนยังสามารถเกาะบริเวณผิวของมวลรวม ดังนั้นมวลรวมที่เก็บอยู่ในสภาพธรรมชาติจึงมีความชื้นต่างๆ กันไป สภาพความชื้นนี้มีผลต่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์นาส่วนผสมคอนกรีต คือ

หากมวลรวมอยู่ในสภาพแห้งก็จะดูดน้ำผสมเข้าไป ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จริงลดลง หากเปียกชื้นก็ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จริงสูง กว่าที่ควรจะเป็น

- สภาพความชื้น

อาจแบ่งสภาพความชื้นของมวลรวมออกได้เป็น 4 ลักษณะ ดังนี้

1. อบแห้ง (Oven-Dry ; OD) ความชื้นถูกขับออกด้วยความร้อนในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศา จนมีน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 12 ชั่วโมง)

2. แห้งในอากาศ (Air-Dry ; AD) ผิวแห้ง แต่อาจมีน้ำในรูพรุนบางส่วน หินย่อยและกรวดโดยทั่วไปที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตจะมีสภาพความชื้นแห้งในอากาศ

3. อิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated-Surface – Dry ; SSD) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำ แต่ผิวแห้ง เป็นสภาพความชื้นของมวลรวมที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

4. เปียก (Wet; W) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำ และมีน้ำบนผิวด้วย ทรายโดยทั่วไปที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตจะมีสภาพความชื้นเปียก

ในการคำนวณออกแบบและส่วนผสมคอนกรีตทุกครั้ง จะถือว่ามวลรวมอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง แล้วจึงปรับปริมาณน้ำตามสภาพความชื้นจริงของมวลรวม ความชื้นทั้งหมดที่อยู่ในมวลรวมในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งนั้นจะเรียก "ความสามารถในการดูดซึม" ผลต่างของความชื้นในลักษณะอิ่มตัวผิวแห้งกับความชื้นในลักษณะแห้งในอากาศเรียกว่า "การดูดซึมจริง"

- ปริมาตรเพิ่มของทราย (Bulking of Sand)

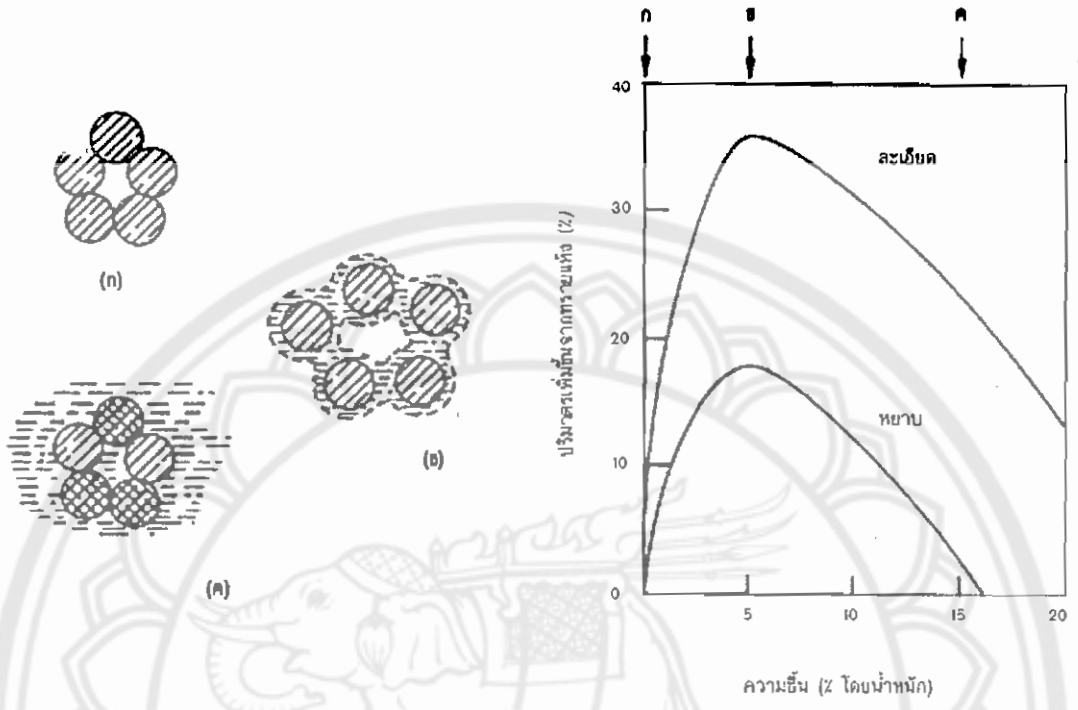
ตามปกติมวลรวมหยาบในสภาพเก็บรักษาจะอยู่ในสภาพแห้งในอากาศโดยมีปริมาณการดูดซึมจริงน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ส่วนมวลรวมละเอียดมักจะเปียกและมีความชื้นบนผิวระหว่าง 3-6 เปอร์เซ็นต์

เหตุที่มวลรวมละเอียดมีปริมาณเพิ่มมากเพราะปริมาณน้ำที่เคลือบอยู่บนผิวอนุภาค นอกจากนี้ความตึงของผิวน้ำยังทำให้ความหนาของน้ำที่เคลือบผิวสูงขึ้นและผลักดันให้อนุภาคของมวลรวมละเอียดห่างออกจากกัน ซึ่งเราเรียกว่า Bulking มีผลทำให้การหาส่วนผสมคอนกรีตด้วยการตวงปริมาตรมีโอกาสผิดพลาด เราจึงควรใช้วิธีชั่งน้ำหนักแทน และการหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมควรทำในสภาพอบแห้ง เมื่อเพิ่มปริมาณความชื้นบนผิวละเอียดจนเปียก แรงตึงผิวจะหายไป ดังนั้นจึงมีปริมาตรลดลงเหมือนสภาพอบแห้งดังรูปที่ 9-49

ง. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของมวลรวมต่อความหนาแน่นของน้ำ ความถ่วงจำเพาะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของมวลรวม และรูพรุนภายในอนุภาคมวลรวม มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในประเทศไทยจะมีค่า

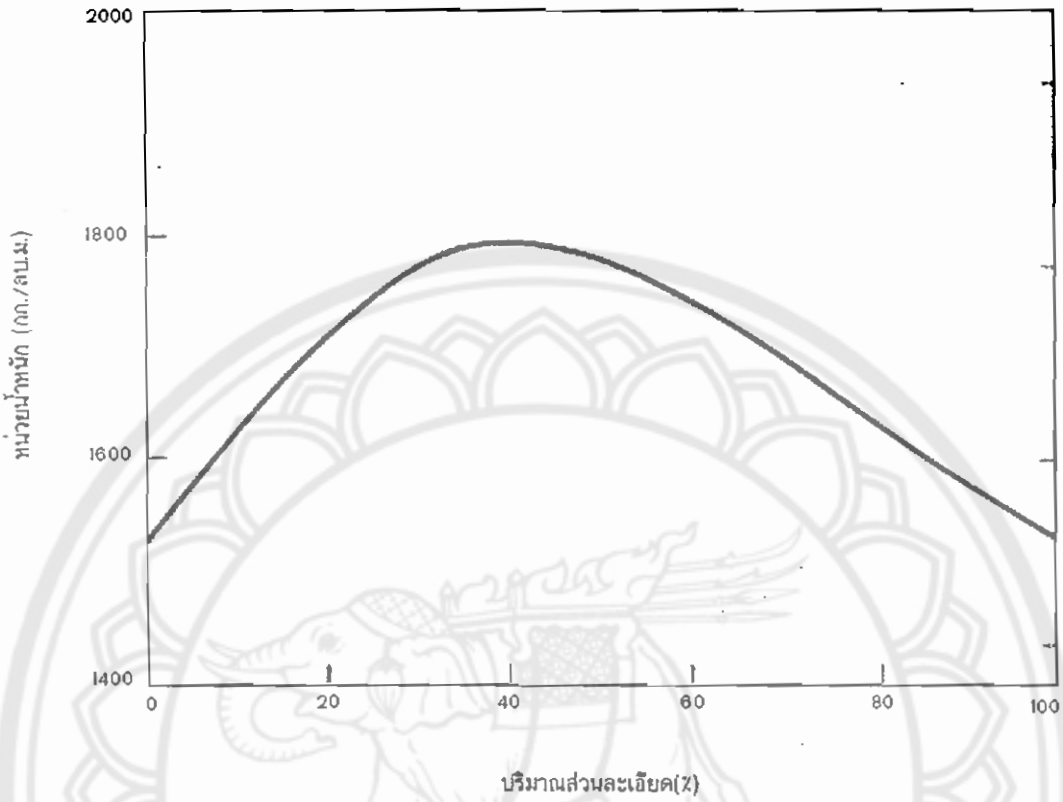
ความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7 และ 2.65 ตามลำดับ ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะใช้ความถ่วงจำเพาะในการแปลงปริมาตร เป็นน้ำหนักหรือกลับกัน



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับปริมาตรเพิ่มของทราย

จ. หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง (Unit Weight and Voids)

หน่วยน้ำหนักของมวลรวม คือ น้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร หน่วยน้ำหนักจะบอกถึงปริมาตรของช่องว่างระหว่างมวลรวม ที่มวลรวมน้ำหนักหนึ่งๆ จะบรรจุได้ ดังนั้น หน่วยน้ำหนักย่อมขึ้นของมวลรวม และระดับของการบดอัด เราใช้หน่วยน้ำหนักในการคำนวณหาปริมาตรเมื่อใช้วิธีดวงในการวัดส่วนผสมกันด้วยอัตราส่วนผสมของคอนกรีต หน่วยน้ำหนักของมวลรวมที่ใช้อยู่ทั่วๆ ไปในประเทศไทยมีค่า 1,300 – 1,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การนำเอามวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดมาผสมกันด้วยอัตราส่วนต่างๆ จะมีผลต่อหน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสมดังแสดงในรูป 9-50 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหน่วยน้ำหนักสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อใช้มวลรวมละเอียด 34-40% โดยน้ำหนัก ดังนั้น ถ้าคำนึงถึงเฉพาะราคาคอนกรีต (ใช้ซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุด) เราควรใช้เปอร์เซ็นต์ทรายในช่วงดังกล่าว แต่ในทางปฏิบัติต้องคำนึงถึงความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสดด้วย



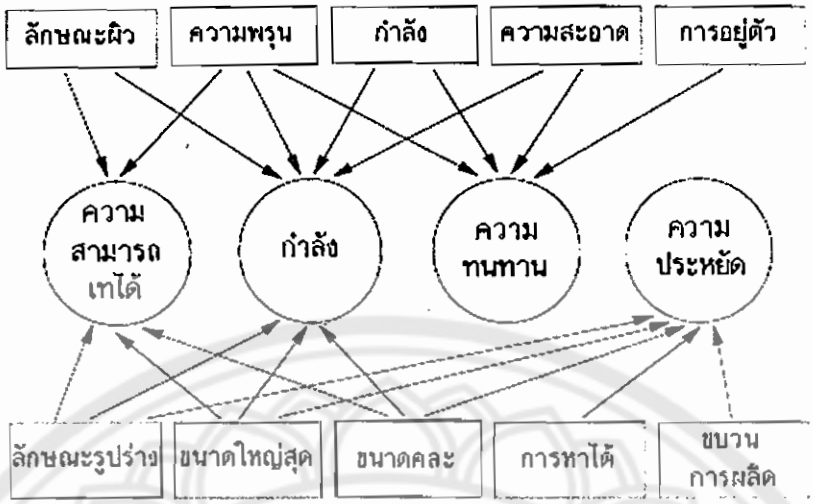
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณมวลรวมละเอียด

คุณสมบัติของมวลรวมที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

คุณสมบัติของมวลรวมจะส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ดังแสดงใน ตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของมวลรวมที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

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



รูปที่ 2.5 ผลกระทบของคุณสมบัติของมวลรวมที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

2.2.3 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับงานคอนกรีต โดยทำหน้าที่ 3 ประการ ได้แก่ น้ำผสมคอนกรีต, น้ำล้างมวลรวม, และน้ำบ่มคอนกรีต

คุณภาพและปริมาณของน้ำผสมคอนกรีตเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อความแข็งแรงและความคงทนของคอนกรีต น้ำผสมคอนกรีตสะอาด ใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และสามารถดื่มได้ หรือถ้าไม่สามารถดื่มได้ก็ควรมีคุณสมบัติผ่านข้อกำหนดของน้ำผสมคอนกรีต นอกจากนี้น้ำผสมคอนกรีตจะต้องไม่มีสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของคอนกรีต เช่น ความสามารถเทได้, ระยะเวลาการก่อตัว, การแข็งตัว, กำลัง และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร อีกทั้งต้องไม่มีผลทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม โดยปกติน้ำประปาที่มีคุณสมบัติเหมาะแก่การบริโภคจะสามารถใช้ผสมคอนกรีตได้ น้ำที่มีคลอไรด์ เช่น น้ำทะเล, น้ำเค็ม, และน้ำกร่อย ไม่เหมาะสำหรับผสมคอนกรีต เพราะจะทำให้เหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเป็นสนิมได้

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในส่วนผสมคอนกรีตนั้น นอกจากจะมีผลต่อความเข้มข้นเหลวหรือความสามารถในการใช้งานเทลงแบบหล่อของคอนกรีตแล้ว ยังส่งผลกระทบสำคัญต่อความแข็งแรงและความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้วด้วย

ดังนั้นการเลือกน้ำที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตจึงจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ

2.2.3.1 หน้าที่ของน้ำสำหรับงานคอนกรีต

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับงานคอนกรีต โดยทำหน้าที่ 3 ประการ ได้แก่

ก. น้ำผสมคอนกรีต : ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น อันมีผลต่อความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตสด และกำลังและความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

ข. น้ำล้างมวลรวม : ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรกให้สะอาดเพื่อที่จะนำมวลรวมมาใช้ผสมทำคอนกรีตได้

ค. น้ำบ่มคอนกรีต : ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้นและเป็นการป้องกันปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีต

2.2.3.2 คุณภาพและปริมาณของน้ำผสมคอนกรีต

คุณภาพและปริมาณของน้ำผสมคอนกรีตเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อความแข็งแรงและความคงทนของคอนกรีต

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

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในส่วนผสมคอนกรีตนั้น นอกจากจะมีผลต่อความข้นเหลวหรือความสามารถในการใช้งานเทลงแบบหล่อของคอนกรีตสดแล้ว ยังส่งผลกระทบสำคัญต่อความแข็งแรงและความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้วด้วย

2.2.3.3 การทดสอบคุณภาพของน้ำผสมคอนกรีต

การทดสอบคุณภาพของน้ำผสมคอนกรีตนี้ ทำได้โดยการทดสอบเปรียบเทียบเวลาการก่อตัวและกำลังอัดระหว่างที่ใช้น้ำตัวอย่างกับที่ใช้น้ำควบคุม กรณีทดสอบตัวอย่างมอร์ตาร์ให้ใช้น้ำกลั่นเป็นน้ำควบคุม และกรณีทดสอบตัวอย่างคอนกรีตอาจเลือกใช้น้ำประปาเป็นน้ำควบคุม

น้ำที่เหมาะสมสำหรับผสมทำคอนกรีต ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

2.2.3.4 ข้อกำหนดคุณภาพของน้ำผสมคอนกรีตจากผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต (E.I.T. Standard 1014)

ก. ค่าเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) ของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำที่นำมาทดสอบต้องไม่เร็วเกินกว่า 60 นาที หรือไม่ช้าเกินกว่า 90 นาที เมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำควบคุม

ข. ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีดที่ใช้น้ำที่นำมาทดสอบต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 90% ของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำควบคุม

ถ้าผลการทดสอบที่ได้ออกนอกค่าที่กำหนด แสดงว่าน้ำนั้นมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีต อาจแก้ไขโดยการเปลี่ยนแหล่งน้ำที่จะนำมาผสมคอนกรีต หรือถ้าผลการทดสอบแสดงว่าค่ากำลังอัดของตัวอย่างไม่ต่ำกว่า 80% ของค่ากำลังอัดเฉลี่ยของตัวอย่างที่ใช้น้ำควบคุม อาจใช้น้ำนี้แต่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมคอนกรีต

2.2.3.5 คุณภาพของน้ำล้างมวลรวม

น้ำล้างมวลรวม ควรมีคุณสมบัติเหมือนน้ำผสมคอนกรีต เพราะน้ำนี้จะเคลือบอยู่บนผิวของมวลรวมและสามารถเข้าไปทำอันตรายต่อคอนกรีตเหมือนกับน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตได้ ข้อที่ควรระวัง คือ ต้องคอยเปลี่ยนน้ำที่ใช้ล้างมวลรวมอย่างสม่ำเสมอ เพราะเมื่อล้างไปช่วงเวลาหนึ่ง น้ำจะขุ่น การใช้ต่อไปจะไม่เกิดผลดีอย่างไร กลับอาจทำให้เกิดความสกปรกเพิ่มขึ้นด้วย

2.2.3.6 คุณภาพของน้ำบ่มคอนกรีต

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

2.3 กำลังอัดของคอนกรีต

คุณสมบัติของคอนกรีตสดจะมีความสำคัญเพียงขณะก่อสร้างเท่านั้น ในขณะที่คุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้วซึ่งมีหลายคุณสมบัติด้วยกัน เช่น กำลัง ความคงทน และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร เป็นต้น จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้น อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งสองลักษณะจะมีผลต่อกันและกัน การทำให้ได้คอนกรีตแข็งตัวแล้วที่ มีคุณสมบัติดีนั้น จะต้องมาจากการเลือกใช้วัสดุและส่วนผสมคอนกรีต ตลอดจนการทำคอนกรีตที่ดีทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้คอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลวมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน

โดยทั่วไปคุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้วในด้านกำลังของคอนกรีตมักได้รับการพิจารณาว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุด แม้ว่าในบางครั้งคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความคงทนและความทึบน้ำ อาจจะมีความสำคัญมากกว่าเดิม โดยในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเรื่องกำลังอัดของคอนกรีตเท่านั้น ส่วนคุณสมบัติด้านกำลังอื่นๆ

2.3.1. ธรรมชาติของกำลังอัดของคอนกรีต

กำลังอัดของคอนกรีต (Compressive Strength) หมายถึง ความสามารถของคอนกรีตในการต้านทานต่อหน่วยแรงอัด (Compressive Stress) ที่เกิดขึ้น โดยไม่เกิดการพังทลาย (Failure) การพังทลายนี้ได้แก่ รอยแตกร้าวที่ปรากฏ

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

2.3.2.1 คุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต

ก. ปูนซีเมนต์ : เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก ทั้งนี้เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภทจะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกัน แต่มีความละเอียดแตกต่างกันแล้ว อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างไปด้วย กล่าวคือ ถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

ข. มวลรวม : มวลรวม มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ ยกเว้นกรณีคอนกรีตกำลังสูงซึ่งมีกำลังของซีเมนต์เพสต์สูงมากกว่าคอนกรีตทั่วไปมวลรวมจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต โดยมวลรวมจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต โดยมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อยซึ่งมีรูปร่างเป็นผลเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบ จะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงกว่ากรวดซึ่งมีผิวเรียบ ขนาดใหญ่สุดของ

มวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้เท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตโดยทั่วไปที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่จึงมักให้กำลังดีกว่า ส่วนขนาดคละของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละไม่เหมาะสม กล่าวคือ มีส่วนละเอียดมากเกินไป นั้น จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามวลรวมที่มีส่วนคละที่ดี เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้เท่ากัน อีกทั้งยังก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นจำนวนมากกว่า ส่งผลให้ทำกำลังอัดของคอนกรีตมีคาต่ำลงได้ นอกจากนี้ ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน

ค. น้ำ : มีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใสและปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารแขวนลอยนั้น

ง. สารผสมเพิ่ม : ชนิด และปริมาณของสารผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำ และสารลดน้ำพิเศษ มีผลต่อการลดน้ำในส่วนผสมคอนกรีตเมื่อควบคุมให้มีค่ายุบตัวเท่ากัน สารผสมเพิ่มประเภทนี้จะช่วยลดปริมาณน้ำในส่วนผสมทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตโดยทั่วไปที่ไม่ใส่น้ำยา นอกจากนี้ การใช้แร่ผสมเพิ่มและสารผสมเพิ่มชนิดอื่นๆ ก็มีผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตแตกต่างกันตามชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มชนิดนั้นๆ เช่น ซิลิกาฟูม จะช่วยให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังในระยะต้นสูงขึ้น จึงนิยมใช้ในการทำคอนกรีตกำลังสูง เป็นต้น

2.3.2.2 ส่วนผสมคอนกรีต

มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตอย่างมาก ถ้าใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่า จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า

2.3.2.3 การทำคอนกรีต

ก. การชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีต : หากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีตผิดไปจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้

ข. การผสมคอนกรีต : การผสมคอนกรีตจะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้น้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์กระจายแทรกตัวอยู่ในช่องว่าง ระหว่างมวลรวมได้เต็มที่ ดังนั้นการผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึงจะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ได้

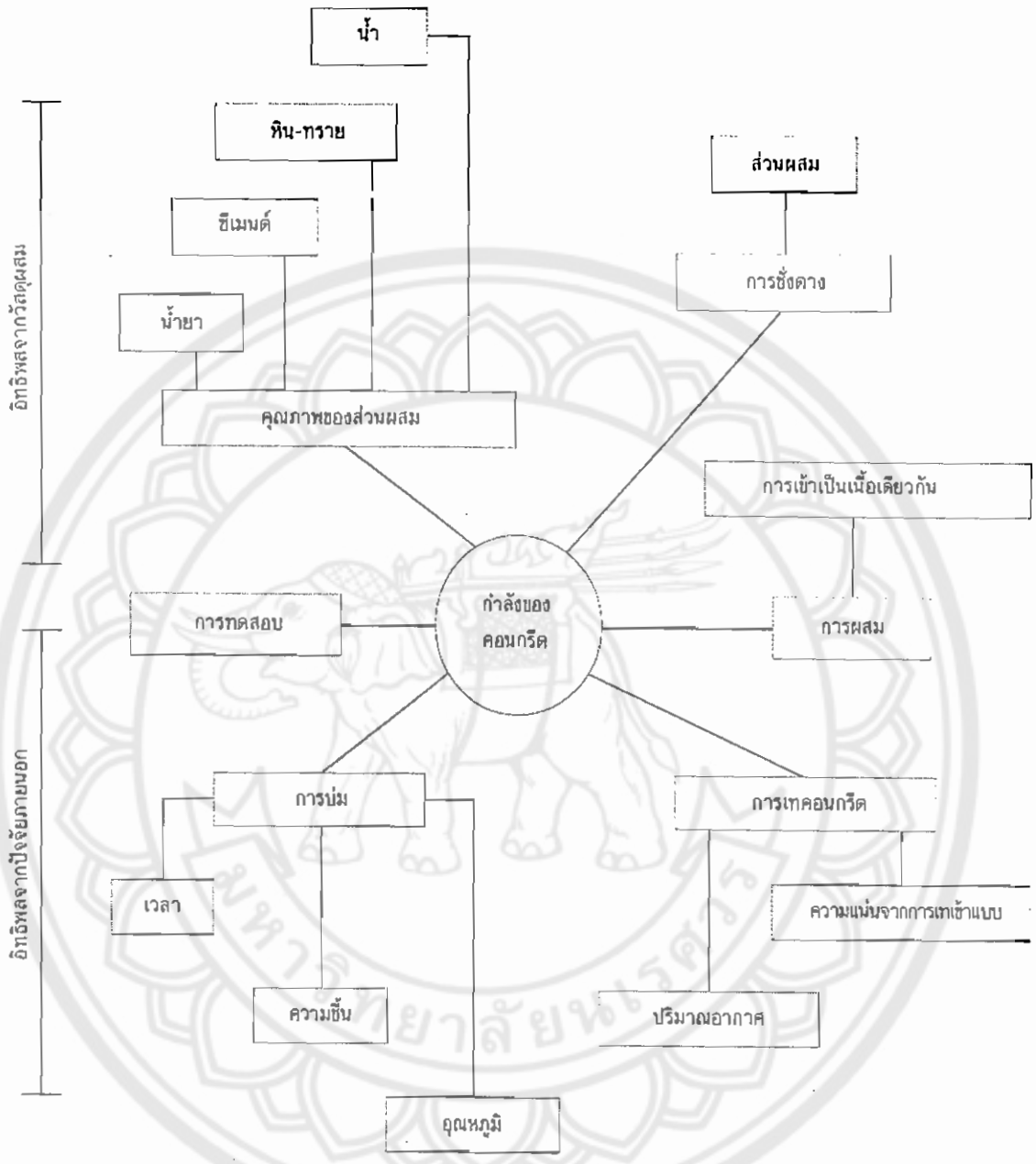
ค. การลำเลียง, การเท, และการอัดแน่นคอนกรีต : จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียง หรือเท จะมีผลทำให้กำลังคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัว หากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูโพรงขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้

2.3.2.4 การบ่มคอนกรีต

ก. ความชื้น : จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะเมื่อปูนซีเมนต์เริ่มผสมกันน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างค่อยเป็นค่อยไป และซีเมนต์เพสต์จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตราบใดที่ยังคงมีความชื้นอยู่ ถ้าซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตไม่มีความชื้นอยู่ คอนกรีตก็จะไม่มีการเพิ่มกำลังอีกต่อไป ดังนั้นเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวจึงควรทำการบ่มด้วยความชื้นทันที ในทางปฏิบัติเราควรจะบ่มคอนกรีตให้หนาที่สุด ส่วนการบ่มในห้องปฏิบัติการ มักจะบ่มจนถึงอายุ 28 วัน

ข. อุณหภูมิ : ถ้าหากอุณหภูมิสูงในขณะบ่ม จะทำให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังเร็วกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิต่ำกว่า

ค. เวลาที่ใช้ในการบ่ม : ถ้าหากสามารถบ่มคอนกรีตให้ชื้นอยู่ตลอดเวลาได้ยิ่งนานเท่าใดก็จะยิ่งได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.6 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต

ป 1A
ว29
ว193ก
2549

สำนักหอสมุด
4 M.A. 2549
4840529

2.2.3 โครงงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้วัสดุแทนที่มวลรวมในคอนกรีตที่ผ่านมา

- **ปีการศึกษา 2547 ในโครงงานเรื่อง "การใช้เศษแก้วเหลือใช้แทนมวลรวมในคอนกรีต" ของ สยุมภู , สุนิศรา และ อภิวัฒน์**

พบว่าในโครงงานได้ศึกษาเกี่ยวกับค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เศษแก้วมาแทนที่มวลรวม โดยได้ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมแก้วจะมีค่าน้อยกว่ากำลังอัดของคอนกรีตธรรมดา ค่ากำลังอัดที่ 28 วัน ของคอนกรีตผสมแก้วแต่ละเปอร์เซ็นต์สรุปได้ดังนี้

- ค่ากำลังอัดของคอนกรีตธรรมดา 277.87 ksc
- ค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมแก้ว 25% 260.66 ksc
- ค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมแก้ว 50% 233.78 ksc
- ค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมแก้ว 75% 215.05 ksc
- ค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมแก้ว 100% 206.29 ksc

สังเกตค่ากำลังอัดที่ 28 วัน ของคอนกรีตผสมแก้ว 100% ค่ากำลังอัดที่ได้มีค่า 206.29 ksc ซึ่งมีค่ามากกว่ากำลังอัดได้ออกแบบไว้คือ 200 ksc ฉะนั้น การแทนที่มวลรวมด้วยแก้วในแก้วในก้อนคอนกรีตสามารถนำมาใช้งานจริงได้ หรืออาจมีการประยุกต์ทำเป็นวัสดุตบแต่ง เช่น แผ่นกระเบื้องหรือแผ่นพื้น เพราะว่าหากทำการขัดจนเห็นแก้วในเนื้อคอนกรีตแล้วจะมีความสวยงามสามารถเป็นวัสดุตกแต่งได้

- **ปีการศึกษา 2547 ในโครงงานเรื่อง "การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตผสมวัสดุเหลือใช้" ของ ปิยะพงศ์ , ภาณุพงศ์ และ ภานุวัตร**

จากการทดสอบคุณสมบัติของกำลังอัดของคอนกรีตเปรียบเทียบกับส่วนผสมวัสดุมวลคละหยาบกับวัสดุเหลือใช้ ที่ส่วนผสมมวลคละหยาบที่หิน 100% ได้ 248.05 ksc เฉลี่ยที่ 28 วัน , ส่วนผสมมวลคละที่ฝาน้ำอัดลม 0% ได้ 319.40 ksc ฝาน้ำอัดลม 50% ได้ 380.56 ksc

- **ปีการศึกษา 2545 ในโครงงานเรื่อง "การศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์ผสมขี้เถ้าแกลบ" ของ ณภัค , สมชาย และ สุชาย**

โครงงานนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์ผสมขี้เถ้าแกลบ โดยทดลองที่ % ของการแทนที่ซีเมนต์ด้วยขี้เถ้าแกลบ 0,10,20,30,40 และ 50% ทำการวัดกำลังอัดและระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นพบว่า การแทนที่ซีเมนต์ด้วยขี้เถ้าแกลบบดละเอียด 10% จะให้ค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับการใช้ซีเมนต์ 100% แต่ใช้เวลาในการพัฒนาแรงอัดนานกว่า (60:15 วัน) การแทนที่ซีเมนต์ด้วยขี้เถ้าแกลบ 20% จะให้ผลการก่อตัวเริ่มต้นที่เร็วกว่าซีเมนต์ 100% เล็กน้อย