

เทคนิคและวิธีการ ผลิตคอนกรีตกำลังสูง ในประเทศไทย

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเทคนิคและวิธีการผลิตคอนกรีตกำลังสูงในประเทศไทย วัตถุประสงค์ของบทความนี้คือ แสดงถึงความเป็นไปได้ในการทำคอนกรีตที่มีกำลังสูงในระดับ 1,000-1,500 กก./ซม.² (Very High Strength Concrete) เนื้อหาในบทความได้กล่าวถึงภาคทฤษฎี คือ พฤติกรรมการวิบัติของคอนกรีตภายใต้แรงอัด และภาคปฏิบัติตั้งแต่การคัดเลือกจัดเตรียมวัสดุ การผสม ไปจนถึงอุปสรรคที่เกิดขึ้นและแนวทางในการแก้ไข หัวใจสำคัญในการทำคอนกรีตกำลังสูงครั้งนี้ อยู่ที่การพยายามทำให้แต่ละองค์ประกอบของคอนกรีตแข็งมีกำลังแข็งแรงมากที่สุด และการควบคุมขั้นตอนการทำงานทุกขั้นตอนอย่างเข้มงวด จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตที่มีกำลังสูงในระดับ 1,000-1,500 กก./ซม.² สามารถทำได้จริงในห้วงปฏิบัติการ ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจที่จะศึกษาวิจัยต่อไปจนให้สามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้จริง และเป็นการพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงในวงการอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทย ให้ทัดเทียมกับนานาชาติได้ในอนาคตอันใกล้

Abstract

This article presents the technique and method for making of high strength concrete in Thailand. The objective of this experiment is to demonstrate the feasibility of making the

compressive strength of concrete up to 150 MPa. Theoretical aspect of the compressive failures of concrete specimens, the corresponding techniques in practice and some experimental experiences are presented. The main emphasis is trying to optimize the strength of each concrete component of hardened concrete and to control rigorously the process of mixing and compacting concrete. Testing results show that compressive strength of standard 100-150 MPa can be achieved in the laboratory. This experiment is expected to be the pioneer project for developing the high strength concrete production. Moreover, this article will hopefully help upgrading Thai's construction industry to the international level in the near future.

1. บทนำ

อุตสาหกรรมก่อสร้างคอนกรีตกำลังสูงมีบทบาทในงานก่อสร้างที่ต้องการคุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตเป็นพิเศษ เช่น งานอาคารสูง หรือสะพานที่ต้องการให้มีขนาดขององค์อาคารที่เล็กลงในขณะที่รับแรงได้เท่าเดิม งานคอนกรีตอัดแรงที่ต้องรับแรงจากลวดอัดแรง เป็นต้น นอกจากนี้ คอนกรีตกำลังสูงยังมีคุณสมบัติในความแน่นทึบของตัวคอนกรีต ซึ่งจำเป็นต่อการก่อสร้างอาคารบางประเภท เช่น เขื่อน ประภาคารท่าเรือ ที่ต้องสัมผัสกับน้ำทะเล

เพื่อป้องกันคลอไรด์และซัลเฟต ซึ่งจะทำให้คอนกรีตและเหล็กเสริมเสื่อมสภาพได้เร็ว เป็นต้น

คอนกรีตกำลังสูงที่ใช้งานในประเทศไทยในปัจจุบันจะมีค่ากำลังอยู่ที่ประมาณ 600 กก./ cm^2 ซึ่งเป็นระดับคอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete) ในขณะที่ยุโรป อเมริกา และญี่ปุ่น ได้วิจัยและพัฒนาจนสามารถผลิตคอนกรีตในระดับคอนกรีตกำลังสูงมาก (Very High Strength Concrete) ซึ่งมีค่ากำลังประมาณ 1,000-1,500 กก./ cm^2 ออกมาใช้งานในวงการอุตสาหกรรมการก่อสร้างได้อย่างแพร่หลาย

การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงในขั้นต้นนั้น จะต้องเริ่มจากการพัฒนาในห้องทดลอง เพื่อให้คอนกรีตมีกำลังสูงมากกว่าค่าความแข็งแรงที่ต้องการใช้ในงานจริงก่อน แล้วจึงพัฒนาในขั้นตอนต่อไป เพื่อนำออกมาใช้งานได้อย่างเป็นรูปธรรม และมีความเหมาะสมในแต่ละลักษณะงานที่มีความแตกต่างกัน แม้ว่าในปัจจุบันการวิจัยและพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงในประเทศไทยนั้นยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากความต้องการคอนกรีตกำลังสูงนี้ยังมีไม่มาก ประกอบกับสภาพเศรษฐกิจที่ไม่เอื้ออำนวย อย่างไรก็ตาม ในช่วงระยะเวลา 2-3 ปีที่ผ่านมา ทางภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้เป็นเจ้าภาพร่วมกับ บริษัท ปูนซิเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด ในเครือซิเมนต์ไทย ได้จัดการแข่งขันการหล่อคอนกรีตกำลังสูงขึ้น “คอนกรีตพลังช้าง” เพื่อพัฒนางานและบุคลากรในวงการคอนกรีต ผลปรากฏว่า กำลังของคอนกรีตที่ชนะการแข่งขันได้พัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากประมาณ 1,000-1,500 กก./ cm^2 ในช่วงระยะเวลาเพียงสามปีเท่านั้น ซึ่งเป็นที่ประจักษ์ว่าบุคลากรของประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตคอนกรีตในระดับกำลังสูงได้เป็นอย่างดี ดังนั้น จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการวิจัยและพัฒนาต่อไป แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ยังมีความจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาและวิจัยถึงคุณสมบัติและพฤติกรรมของคอนกรีตกำลังสูงในด้านต่างๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งานในลำดับต่อไป เพื่อให้การนำไปใช้งานนั้นได้เกิดประโยชน์สูงสุดและเกิดความปลอดภัยในการก่อสร้าง

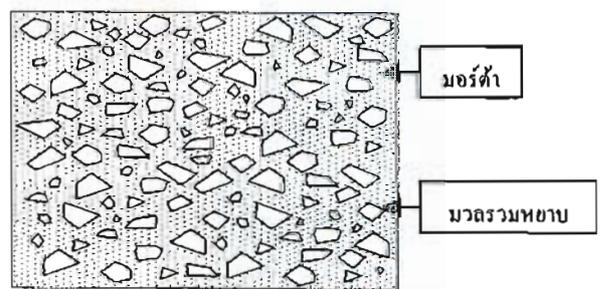
บทความฉบับนี้ เป็นการนำเสนอเทคนิคและวิธีการผลิตคอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete) ที่สามารถทำได้จริงในห้องทดลอง เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่มีความสนใจที่จะศึกษาและวิจัยต่อ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในทางก่อสร้างจริงได้ และเพื่อเป็นการพัฒนาวงการอุตสาหกรรมการก่อสร้างไทยให้ทัดเทียมกับนานาชาติได้ในอนาคตอันใกล้

2. องค์ประกอบและการวิบัติของคอนกรีต

คอนกรีตกำลังสูงเป็นที่เข้าใจกันว่า หมายถึงคอนกรีตที่มีกำลังสูง 500 กก./ cm^2 ขึ้นไป ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีของคอนกรีตในการใช้งานต่างๆ ได้รับการพัฒนาขึ้นตามลำดับ จากการพัฒนาคอนกรีตให้มีกำลังสูงขึ้น โดยมีกำลังใน 24 ชั่วโมงแรกสูง และกำลังที่ 28 วันสูงมากขึ้น ($f_c' = 600-1,200$ กก./ cm^2) ต่อมาได้พัฒนาคอนกรีตให้มีความสามารถในการไหลดี มีความสามารถในการเทได้สูง ทำงานง่าย สามารถทำงานโดยใช้แรงงานน้อยที่สุด พร้อมกันนี้ยังได้รับการพัฒนาในด้านความคงทน โดยมีการทึบน้ำสูง ไม่แยกตัว และมีเสถียรภาพเป็นมิติได้ดี มีการยึดหดตัวน้อย คุณสมบัติอื่นๆ ที่ได้พัฒนาขึ้นนอกเหนือจากกำลังสูงนี้ ทำให้คอนกรีตในกลุ่มนี้จัดเป็นคอนกรีตคุณภาพสูง (High Performance Concrete) ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดในวงการอุตสาหกรรมการก่อสร้างมากกว่าคอนกรีตกำลังสูงอย่างเดียว

ความเข้าใจในองค์ประกอบและพฤติกรรมการวิบัติของคอนกรีตแข็ง มีส่วนสำคัญอย่างมากในการออกแบบและคัดเลือกวัสดุ โดยเฉพาะวัสดุผสมรวม เพื่อปรับปรุงกำลังของคอนกรีตให้ดียิ่งขึ้น เมื่อมาพิจารณาคอนกรีตแข็งซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วน (ดังแสดงในรูปที่ 1) คือ

1. มอร์ต้า (Mortar) คือ ซีเมนต์เจล (Cement Gel) ที่แข็งตัวรวมกับทราย ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (Binder)
2. มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) หรือหิน



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของคอนกรีต

คอนกรีตโดยทั่วไปเมื่อรับน้ำหนักจนถึงจุดประลัย ส่วนที่เป็นมอร์ต้าจะวิบัติโดยที่มวลรวมหยาบยังไม่วิบัติ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทั้งนี้เนื่องจากกำลังของมอร์ต้าสำหรับคอนกรีตทั่วไปน้อยกว่ามวลรวมหยาบ แต่สำหรับคอนกรีตกำลังสูงที่มีการปรับปรุงกำลังของมอร์ต้าจนมีค่าสูงกว่ามวลรวมหยาบ การวิบัติจะเริ่มต้นจากมวลรวมหยาบ ซึ่งเป็นผลทำให้มอร์ต้าและมวลรวมหยาบวิบัติต่อเนื่องไปด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และถ้าใช้วัสดุมวลรวมหยาบร่วมกับ

มอร์ต้าที่มีกำลังสูงมากทั้งสองส่วน โดยเฉพาะมวลรวมหยาบที่มีความแข็งแรงมากเป็นพิเศษ การวิบัติก็จะเกิดขึ้นตามแนวผิวสัมผัสระหว่างมวลรวมหยาบกับมอร์ต้า (Bond Failure) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 สำหรับมอร์ต้านั้นเราสามารถเพิ่มกำลังได้โดย

- ลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ [1] โดยใช้สารผสมเพิ่ม เช่น สารเพิ่มความไหลลื่นสูง (Superplasticizer) แต่ต้องไม่ลดน้ำน้อยเกินไปจนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์เป็นจำนวนมาก และไม่ควรรใช้สารเพิ่มความไหลลื่นสูงมากเกินไปที่ผู้ผลิตระบุ

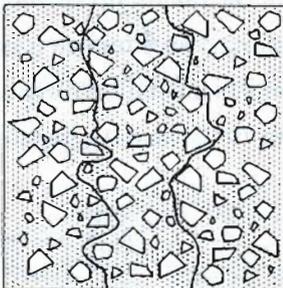
- ใช้สารเพิ่มกำลังให้กับคอนกรีต อันได้แก่ วัสดุปอซโซลานชนิดต่างๆ อาทิเช่น ซิลิกาฟูม เถ้าลอย

- เพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ต่อ 1 ลบ.ม. ซึ่งจะเป็นการเพิ่มปริมาณซีเมนต์เฟสท์ (Cement Paste) ในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ซึ่งคุณภาพของปูนซีเมนต์ในปัจจุบันสูงมากจนทำให้ซีเมนต์เฟสท์มีกำลังสูงกว่ามวลรวม แต่ไม่ควรเพิ่มมากเกินไปให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าว เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน และการหดตัวที่สูงมากขึ้น

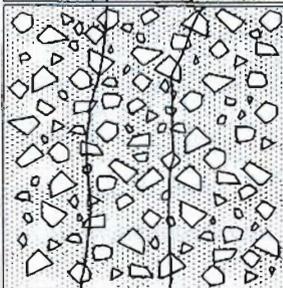
- การใช้ขนาดคละของมวลรวมละเอียด หรือทรายเพื่อลดช่องว่างขนาดเล็กที่เกิดในมอร์ต้า

ส่วนมวลรวมหยาบ ก็ควรเลือกใช้หินที่มีความแข็งแรงสูง มีเนื้อที่สม่ำเสมอ เช่น หินแกรนิต (Granite) หรือหินบะซอลต์ (Basalt) ซึ่งถ้าเป็นหินที่ถูกย่อยขนาดโดยธรรมชาติ จะมีรอยร้าวขนาดเล็ก (Microcrack) ในเนื้อหินน้อยกว่าหินที่ไม่จากโรงโม่ แต่หายากกว่าการซื้อจากโรงโม่เพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการ หินที่ได้จากโรงโม่ควรที่จะเลือกหินที่มีขนาดเล็ก เช่น 3-4 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว เพราะหินที่มีขนาดใหญ่โอกาสที่จะเกิดรอยร้าวขนาดเล็กในเนื้อหินมีมากซึ่งจะวิบัติได้ง่าย ส่งผลทำให้กำลังของคอนกรีตลดต่ำลง และสำหรับหินที่มีขนาดเล็กกว่า 3/8 นิ้ว ส่วนใหญ่ก็จะเป็นหินเกร็ดที่มีรูปร่างแบน มีความแข็งแรงน้อย ซึ่งจะเป็นจุดอ่อนในเรื่องของกำลังเช่นกัน

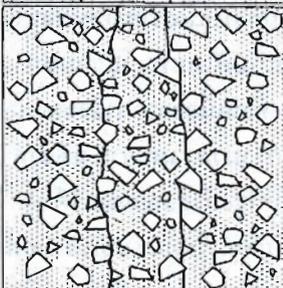
สำหรับแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างมอร์ต้ากับมวลหยาบนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่าง และพื้นผิวของมวลรวมหยาบเป็นสำคัญ คือ หินที่มีรูปร่างมีเหลี่ยมมีมุม จะช่วยในการยับยั้งการวิบัติระหว่างหินกับมอร์ต้าได้ดีกว่ารูปร่างกลม และหินที่มีพื้นผิวขรุขระ หรือมีเม็ดผลึกที่ละเอียดจะช่วยทำให้มอร์ต้ายึดเกาะกับหินได้ดีกว่าหินที่มีเม็ดผลึกหยาบซึ่งจะมีผิวเรียบมากกว่า โดยธรรมชาติหินบะซอลต์ และหินปูน (Limestone) ที่นิยมใช้ในงานคอนกรีตทั่วไป มีผลึกละเอียดช่วยในการยึดเกาะได้ดี แต่สำหรับหินแกรนิตที่มีผลึกละเอียดจะหายากกว่าหินบะซอลต์และหินปูน



รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.3

รูปที่ 2 การวิบัติในรูปแบบต่างๆ ของคอนกรีต

3. การควบคุมคุณภาพและการจัดเตรียมวัสดุ

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ควรเลือกปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นใหม่จากโรงงานที่มีการควบคุมคุณภาพที่ดี มีคุณภาพสม่ำเสมอและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งบรรจุอยู่ในถุงที่ปิดสนิทมิดชิด ไม่สัมผัสกับความชื้น ก่อนนำมาผสมต้องมีการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (ตะแกรงที่มี 200 ตา/หนึ่งนิ้ว หรือ 67 ตา/หนึ่งเซนติเมตร) การร่อนนี้จะช่วยคัดแยกปูนซีเมนต์ที่เกาะตัวกันเป็นก้อนออกไป และทำให้อนุภาคปูนซีเมนต์แยกตัวออกจากกัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการผสม ทำให้ปูนซีเมนต์สัมผัสกับน้ำได้อย่างทั่วถึง อีกทั้งยังมีผลต่อความสม่ำเสมอ และผลต่อการพัฒนากำลังของคอนกรีต ทั้งนี้เนื่องมาจากอัตราการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมี และขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์

น้ำสามารถแบ่งได้ตามสภาพการใช้งานคอนกรีตได้แก่

น้ำสำหรับผสมคอนกรีต น้ำผสมคอนกรีตต้องมีความสะอาด คือ ปราศจากกรด ด่าง น้ำมัน และสารอินทรีย์อื่นๆ

ในปริมาณที่จะทำอันตรายต่อคอนกรีต โดยสารที่เจือปนอยู่ในน้ำจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของตัวและกำลังของคอนกรีต โดยปกติน้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำเสียจากครัวเรือน หรือจากโรงงานอุตสาหกรรม จะถือว่ามีความปลอดภัยสำหรับงานคอนกรีต ถ้าจะให้ดีอาจจะใช้น้ำดื่มในการผสมคอนกรีต แต่ก็มีราคาแพง และให้ผลแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

น้ำสำหรับบ่มคอนกรีต ให้แข็งตัวและมีกำลังรับแรงได้ น้ำที่มีสารเจือปน เช่น ผุ่น น้ำมัน หรือเกลือ ผสมอยู่พอสมควรอาจใช้ในการบ่มคอนกรีตได้

น้ำสำหรับล้างวัสดุผสม ให้สะอาดก่อนใช้ผสมทำคอนกรีต การใช้น้ำที่มีสารเจือปน เช่น พวกฝุ่น กรด ด่าง น้ำมัน หรือสารอินทรีย์ต่างๆ ล้างวัสดุผสมให้สะอาดก่อนที่จะนำมาใช้ผสมทำคอนกรีตนั้น สารเจือปนเหล่านี้จะไปเคลือบอยู่ที่ผิวของวัสดุผสม และอาจเป็นสาเหตุให้เนื้อคอนกรีตหุกร่อน คอนกรีตแข็งตัวช้า หรือกำลังต่ำลง ฉะนั้นจึงควรเปลี่ยนน้ำที่ใช้ล้างวัสดุบ่อยๆ

มวลรวม (Aggregate) อันได้แก่ หินย่อย กรวดและทราย ซึ่งเป็นวัสดุพวกแร่ธาตุที่เฉื่อย ไม่ทำปฏิกิริยาให้เกิดสารใหม่ขึ้น มวลรวมอาจเรียกได้ว่าเป็นตัวแทรก (Filler Material) ในเนื้อคอนกรีตก็ได้ ซึ่งการเลือกใช้วัสดุผสมนี้มีส่วนสำคัญที่จะช่วยทำให้ได้คอนกรีตที่ดี กล่าวคือ คุณสมบัติของหินและทรายจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต สัดส่วนของการผสมและในด้านความประหยัด มวลรวมที่จะใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตต้องสะอาด แข็งแรง ทนทาน มีเหลี่ยมคม ไม่ขยายตัวมาก โดยทั่วไปจะแบ่งมวลรวมออกเป็น

มวลรวมละเอียด โดยทั่วไปทรายแม่น้ำจะเป็นที่นิยมใช้ในงานคอนกรีตโดยทั่วไป เพราะค่อนข้างสะอาด รูปร่างมีลักษณะค่อนข้างกลม และมีผิวค่อนข้างเรียบ จึงเป็นสาเหตุทำให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำในการผสมน้อยกว่า กรณีที่ใช้ทรายบก ที่ค่าความสามารถไหลของคอนกรีตเท่าๆ กัน ดังนั้น ทรายแม่น้ำที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปจึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสม ซึ่งการเตรียมทรายก่อนนำไปใช้ผสมคอนกรีตนั้น ต้องแช่ทรายในน้ำสะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาล้างน้ำให้สะอาด แล้วจึงแช่ทรายในน้ำสะอาดอีกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อจากนั้นต้องทำให้ทรายอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) [2] ในทางปฏิบัติอาจจะนำมาผึ่งลมให้แห้ง ซึ่งอาจจะต้องใช้เวลาหลายวัน แต่ไม่ควรผึ่งแดดโดยตรง เพราะจะทำให้ทรายแห้งจนเกินไปหรืออาจจะแห้งอย่างไม่สม่ำเสมอ จะทำให้ทรายดูดซับน้ำที่ใช้

ในการผสมคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตมีลักษณะที่แห้งจนเกินไปกว่าที่ได้ออกแบบได้ ดังนั้นอาจจะแก้ไขได้โดยการเติมน้ำเพิ่มลงไป ในส่วนที่จะถูกทรายดูดซับไว้ในขณะผสมคอนกรีต ซึ่งก็ยากแก่การควบคุมให้มีความสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงควรมุ่งเน้นในการที่จะทำให้ทรายอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งให้ได้มากที่สุด การเก็บทรายหลังจากที่เตรียมเสร็จแล้วนั้น ถ้ายังไม่ใช้งานในทันทีควรใส่ในภาชนะบรรจุปิดให้มิดชิด เพื่อป้องกันการระเหยและดูดซับน้ำจากทราย

มวลรวมหยาบ เป็นวัสดุที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม. ขึ้นไป ได้แก่ กรวดและหินย่อยหรือหินโม้ มวลรวมหยาบที่นำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตกำลังสูง ต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีต มวลรวมหยาบที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นแฉ่งเหลี่ยมคม มวลรวมหยาบที่เป็นแผ่นแบนหรือชิ้นยาว (Flat and Elongation Particles) ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ เพราะต้องการน้ำในส่วนผสมมากกว่ามวลรวมหยาบที่มีก้อนกลมหรือลูกบาศก์ เพื่อให้ได้ความสามารถเท่าๆ กัน ทำให้เปลืองซีเมนต์ ลดกำลังและแรงยึดเหนี่ยวภายในก้อนคอนกรีต มวลรวมหยาบก้อนกลมช่วยให้ทำงานง่ายและประหยัด เพราะต้องการปูนซีเมนต์และน้ำในส่วนผสมน้อยกว่ามวลรวมหยาบที่มีก้อนเป็นแฉ่งเป็นมุม แต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนกับซีเมนต์เพสต์ต่ำกว่ามวลรวมหยาบที่มีผิวหยาบหรือด้าน ซึ่งจะช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนดีขึ้น ฉะนั้นมวลรวมหยาบที่ดีต้องมีรูปร่างที่ไม่แบนหรือเรียวยาว และต้องไม่เป็นทรงกลมมนหรือผิวเรียบมัน แต่ต้องมีเหลี่ยมมุมและผิวที่หยาบด้าน เพื่อที่จะช่วยยับยั้งการแตกร้าวของคอนกรีตภายใต้แรงอัด ได้ดียิ่งขึ้น ขนาดของหินต้องไม่ใหญ่เพื่อหลีกเลี่ยงรอยแตกร้าวขนาดเล็กที่อยู่ในเนื้อหิน ซึ่งพบโดยทั่วไปในหินขนาดใหญ่ที่เกิดจากการย่อยขนาดจากโรงโม่ ดังนั้นขนาดของหินที่ควรใช้คือ ขนาดประมาณ 10 มม. (หรือ 3/8 นิ้ว) หินที่มีความพรุนน้อย นอกจากจะมีความแข็งแรงสูงแล้วยังดูดซับน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตน้อยกว่าหินที่มีความพรุนมาก ซึ่งทำให้ควบคุมปริมาณน้ำในระหว่างการผสมได้แน่นอนมากขึ้น เหล่านี้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญทั้งหมดของหิน ที่จะส่งผลทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้นและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ขั้นตอนการเตรียมหินนั้นเริ่มจากการร่อนคัดแยกขนาดหินให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ แล้วนำมาคัดรูปร่างและคุณภาพโดยเลือกเอาเฉพาะหินที่มีรูปร่างและผิวที่ดี ไม่พรุน ไม่มีรอยแตกร้าว และที่สำคัญต้องมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน เสร็จแล้วจึงนำหินที่ได้ไปแช่ในน้ำสะอาด 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาล้างน้ำให้สะอาด แล้วจึงแช่หินในน้ำสะอาดอีกเป็นเวลา

24 ชั่วโมง ส่วนการเตรียมก่อนนำไปใช้งานนั้น ต้องทำให้หินอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งเช่นเดียวกับทราย โดยนำไปผึ่งลมให้แห้งและหลีกเลี่ยงการผึ่งแดดโดยตรง

ซิลิกาฟูม (Condensed Silica Fume) วัสดุปอซิโซลานที่มีคุณภาพดี และเป็นที่ยอมรับในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงในปัจจุบัน คือ ซิลิกาฟูม ซึ่งควรคัดเลือกที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ การคัดและจัดเตรียมซิลิกาฟูม นั้น จะเหมือนกับปูนซีเมนต์ คือ คัดเลือกวัสดุที่ผลิตขึ้นใหม่ จากโรงงานที่มีการควบคุมคุณภาพที่ดี มีคุณภาพสม่ำเสมอ และเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งบรรจุอยู่ในถุงที่ปิดสนิทมิดชิด และต้องมีการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ก่อนนำไปใช้งาน

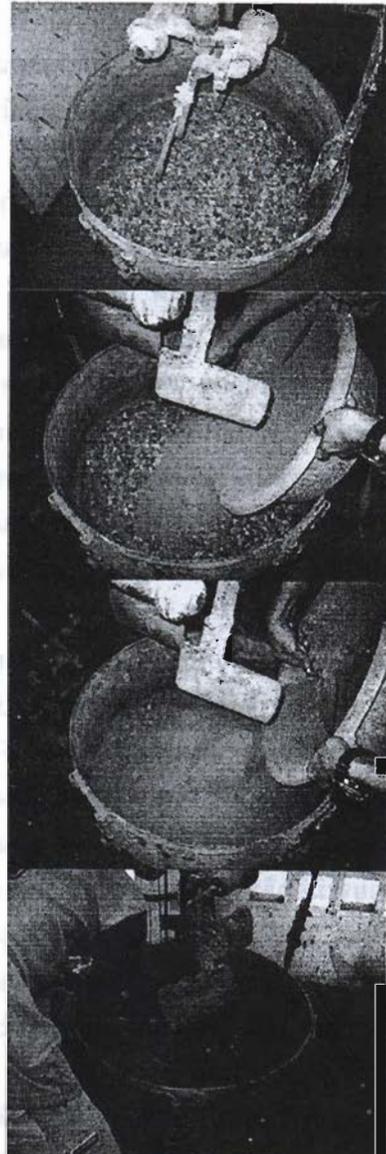
สารเพิ่มความไหลลื่นสูง (Superplasticizer) การเตรียมสารเพิ่มความไหลลื่นสูง ก็คือ เลือกเอาเฉพาะที่ผลิตขึ้นใหม่จากโรงงานที่มีการควบคุมคุณภาพที่ดี มีคุณภาพสม่ำเสมอและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะปิดมิดชิดอย่างดี

4. ขั้นตอนการหล่อคอนกรีตกำลังสูง

หลังจากได้ทำการจัดเตรียมวัสดุแล้ว ก็มาถึงขั้นตอนการผสมคอนกรีต ซึ่งถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งในการผลิตคอนกรีตกำลังสูง ซึ่งมีขั้นตอนและรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ชั่งตวงวัสดุต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต
2. แบ่งน้ำที่จะใช้ผสมออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน โดยส่วนหนึ่งจะนำมาผสมกับสารลดน้ำอย่างมากให้เข้ากัน
3. นำปูนซีเมนต์กับซิลิกาฟูม มาคลุกเคล้าให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ
4. ทำการเทส่วนผสมแห้งลงในเครื่องผสมแบบกะทะ (Pan Mixer) ซึ่งประกอบด้วย ปูนซีเมนต์กับซิลิกาฟูมที่คลุกเคล้าเข้ากันดีแล้ว ทราย และหิน โดยขั้นตอนของการเทส่วนผสมมีดังต่อไปนี้ คือ เริ่มจากเทหินลงเป็นส่วนที่อยู่ล่างสุด ขึ้นต่อมาเป็นส่วนที่ได้จากการคลุกกันระหว่างปูนซีเมนต์กับซิลิกาฟูม สำหรับชั้นบนสุดจะเป็นส่วนของทราย โดยส่วนขั้นตอนการผสมแห้งนี้จะผสมจนกว่าปูนซีเมนต์ ซิลิกาฟูม และทราย ปนเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอ และปกคลุมอยู่รอบๆ หิน ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที
5. ค่อยๆ ทำการเทน้ำส่วนที่ผสมกับสารเพิ่มความไหลลื่นสูงไว้แล้วลงในเครื่องผสมประมาณครึ่งหนึ่ง ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาในการผสมประมาณ 5 นาที หลังจากนั้น

จะค่อยๆ เทส่วนที่เหลือลงไปจนหมด ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 5 นาที เช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.1

รูปที่ 3.2

รูปที่ 3.3

รูปที่ 3.4

รูปที่ 3 ขั้นตอนการผสมแห้งให้ส่วนผสมเข้ากันอย่างสม่ำเสมอ

6. ค่อยๆ ทำการเทน้ำส่วนที่ 2 ที่ไม่ได้ผสมกับสารเพิ่มความไหลลื่นสูงลงในเครื่องผสมประมาณครึ่งหนึ่ง ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาในการผสมประมาณสามนาที หลังจากนั้นจะค่อยๆ ทำการเทส่วนที่เหลือลงไปจนหมด ซึ่งจะใช้เวลาประมาณสามนาทีเช่นเดียวกัน

7. ถ้าส่วนผสมเริ่มเหลว มีลักษณะคล้ายหมากฝรั่งหรือคาราเมล ให้ผสมต่อไปประมาณ 2-3 นาที ให้เหลวมากขึ้นพอให้สามารถทำงานได้ (Slump อย่างน้อยประมาณ 4 ซม.) แล้วเทลงแบบหล่อ แต่ถ้าส่วนผสมยังแห้งอยู่มาก ให้เติมน้ำเพิ่มเติมอีก โดยปริมาณน้ำที่เพิ่มนี้ ควรเพิ่มเป็น



รูปที่ 4.1

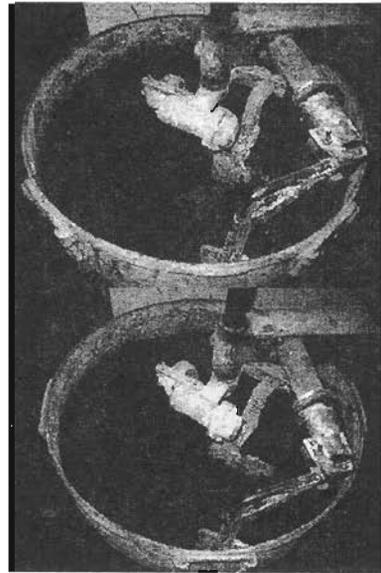
รูปที่ 4.2

รูปที่ 4.3

รูปที่ 4 ขั้นตอนการเทน้ำผสมกับสารลดน้ำอย่างมาก
ลงในส่วนผสมแห้ง

อัตราส่วนต่อปูนซีเมนต์ในอัตราครึ่งละ 0.01 แล้วผสมต่ออีกประมาณ 1-2 นาที อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่ใช้ในการผสมทั้งหมด ตั้งแต่ปูนซีเมนต์เริ่มสัมผัสกับน้ำไม่ควรเกิน 30 นาที เพราะคอนกรีตจะเริ่มก่อตัว ซึ่งอาจจะมีผลทำให้ต้องเพิ่มปริมาณน้ำในการผสมคอนกรีตมากขึ้น จะเป็นการเสี่ยงต่อค่ากำลังอัดที่ต่ำลงของคอนกรีต

8. เทคอนกรีตสดที่ได้จากการผสมลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ ซึ่งแบบหล่อที่เตรียมไว้จะต้องมีการตรวจสอบว่าไม่มีรอยร้าว และรอยต่อของแบบหล่อจะต้องแน่นสนิทกันให้ดี ทั้งนี้เพื่อป้องกันการรั่วไหลของซีเมนต์เพสต์ออกจากตัวคอนกรีตในขณะทำการบดอัด ซึ่งการบดอัดนี้จะทำโดยแบ่งการเทเป็นทั้งหมด 4 ชั้น เวลาที่ใช้ในการบดอัดในแต่ละชั้นประมาณ 1-2 นาที ซึ่งหลังจากที่แต่ละชั้นจะใช้เหล็กกระทุ้งมาตรฐานทำให้คอนกรีตสดยุบตัวอัดแน่นขึ้นประมาณ 25 ครั้ง และนำแบบหล่อเขย่าบนโต๊ะสั่นประมาณ 45 วินาที ให้ทำตามขั้นตอนนี้ในทุกๆ ชั้นที่เทคอนกรีตสดลงในแบบหล่อ ทั้งนี้จำนวนชั้นในการเท จำนวนครั้งในการตําในแต่ละชั้น และระยะเวลาที่ใช้ในการเขย่าบนโต๊ะสั่น อาจ



รูปที่ 5.1

รูปที่ 5.2

รูปที่ 5 ขั้นตอนการผสมคอนกรีตจนมีความสามารถในการเท
ปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม กล่าวคือ ตามความชัน
เหลวของคอนกรีตสด

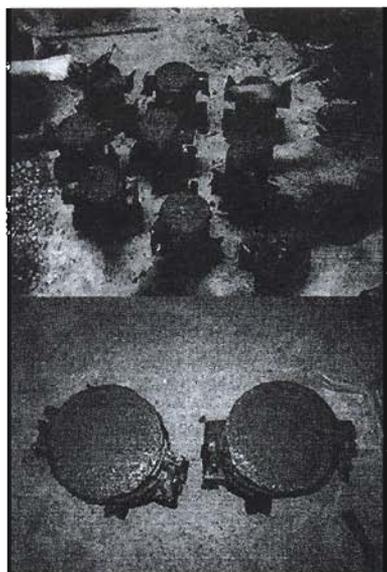
9. ทำการแต่งผิวหน้า โดยใช้เกรียงปาดแต่งผิวคอนกรีตให้เรียบ และถ้าเป็นตัวอย่างที่นำมาทดสอบกำลังอัดควรปาดผิวให้เรียบมากที่สุด และได้ระดับในแนวนอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ (โดยเฉพาะกรณีตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก) เนื่องจากถ้าผิวหน้าสัมผัสของตัวอย่างทดสอบไม่เรียบ จะทำให้การกระจายแรงกดลงในตัวอย่างทดสอบนั้นจะมีความไม่สม่ำเสมอ และถ้าผิวหน้าสัมผัสไม่ได้ระดับจะทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้นในชั้นทดสอบขณะทำการทดสอบ ซึ่งจะทำให้ค่าการทดสอบความต้านทานต่อแรงกด



รูปที่ 6.1

รูปที่ 6.2

รูปที่ 6 ขั้นตอนการบดอัด เขย่าคอนกรีตสดในแบบหล่อ



รูปที่ 7.1



รูปที่ 7.2

รูปที่ 7 ขั้นตอนการปาดแต่งผิวหน้าตัวอย่าง
ทดสอบแรงกดให้เรียบ

ของชั้นทดสอบนั้นต่ำกว่าความเป็นจริง ทั้งนี้สาเหตุก็เนื่องมาจากพฤติกรรมของคอนกรีตนั้นมีความสามารถรับแรงดึงหรือแรงเฉือนต่ำกว่าแรงกดมาก การแก้ปัญหาผิวหน้าสัมผัสของตัวอย่างทดสอบไม่เรียบนี้ ในกรณีของคอนกรีตธรรมดาอาจใช้วิธีการหุ้มด้วยกัมมะถันหรือใช้แผ่นยางรองผิวหน้าสัมผัส เพื่อให้เกิดการกระจายแรงลงในชั้นทดสอบได้อย่างสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น แต่สำหรับคอนกรีตกำลังสูงนี้ การแก้ปัญหาด้วยวิธีการหุ้มด้วยกัมมะถันหรือใช้แผ่นยางรองผิวหน้าสัมผัสนั้น ไม่สามารถกระทำได้เนื่องจากวัสดุทั้งสองมีค่ากำลังรับแรงกดที่ต่ำกว่าของคอนกรีต จึงทำให้เกิดการแตกหรือพังที่กัมมะถันหรือแผ่นยางก่อน ดังนั้นการกระจายแรงจึงไม่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

10. รอให้คอนกรีตแข็งตัวในแบบหล่อ 24 ชั่วโมง ซึ่งจะต้องปิดคลุมด้วยวัสดุที่ทนน้ำ อาทิเช่น แผ่นพลาสติก เพราะเป็นการป้องกันการระเหยของน้ำจากผิวของคอนกรีต หลังจากนั้นนำตัวอย่างออกจากแบบหล่อไปแช่ในน้ำ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 27 วัน และก่อนที่จะนำชิ้นตัวอย่างมาทำการทดสอบควรที่จะต้องนำมาผึ่งแดดให้แห้งสนิทเสียก่อน เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการที่มอร์ต้ามีความชื้น [3] ที่จะมีผลต่อค่ากำลังของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ

5. ตัวอย่างผลการทดลอง

ตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูง และผลการทดสอบในการแข่งขันคอนกรีตพลังช้าง ครั้งที่ 2

วัสดุ	น้ำหนัก (กก.) ต่อ ปริมาตร (ม ³)	ปริมาตร (ม ³)
ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1 (C)	580.0	0.18
ซิลิกาฟูม (CSF)	98.6	0.05
ทรายแม่น้ำ (S)	518.1	0.20
หินปูนขนาด 3/8 นิ้ว (CA)	1,209.1	0.45
น้ำ (W)	130.5	0.13
สารเพิ่มความไหลื่นสูง (SP)	34.8	0.03
น้ำหนักรวม	2,571.1	1.04

ขนาดของทราย	สัดส่วนที่ใช้โดย น้ำหนัก
ค้างตะแกรง เบอร์ 30	0.40
ค้างตะแกรง เบอร์ 50	0.50
ค้างตะแกรง เบอร์ 100	0.10
รวม	1.00

อัตราส่วนวัสดุ	โดย น้ำหนัก	โดย ปริมาตร
CSF/C	0.17	0.24
W/C	0.22	0.71
W/(C+CSF)	0.19	0.57
S/C	0.89	1.06
S/CA	0.43	0.44
C/CA	0.48	0.41
SP/(C+CSF)	0.05	0.15

อายุ	วิธีนับ	ค่ากำลังอัด	ค่ากำลังอัด	ค่ากำลังอัด
		No. 1 (กก/ซม ²)	No. 2 (กก/ซม ²)	เฉลี่ย (กก/ซม ²)
28 วัน	น้ำ	1,348.76	1,293.38	1,321.07

หมายเหตุ: ใช้ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 ซม. ในการทดสอบกำลัง



รูปที่ 8 ลักษณะคอนกรีตที่ใช้ในการแข่งขัน
คอนกรีตพลังช้าง ครั้งที่ 2

ตัวอย่างที่ 2 ตัวอย่างส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูง และผลการทดสอบในการแข่งขันคอนกรีตพลังช้าง ครั้งที่ 3 (ประเภทฟรีสไตล์) ปี พ.ศ. 2545

วัสดุ	น้ำหนัก (กก.) ต่อ ปริมาตร (ม ³)	ปริมาตร (ม ³)
ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1 (C)	580.0	0.18
ซิลิกาฟูม (CSF)	98.6	0.05
ทรายขาว (QS)	459.4	0.17
หินบะซอลต์ขนาด 3/8 นิ้ว (CA)	1,209.1	0.45
น้ำ (W)	116.0	0.12
สารเพิ่มความไหลื่นสูง (SP)	34.8	0.03
น้ำหนักรวม	2,497.9	1.00

ขนาดละเอียดของทราย	สัดส่วนที่ใช้ โดย น้ำหนัก
ค้ำตะแกรง เบอร์ 30	0.40
ค้ำตะแกรง เบอร์ 50	0.50
ค้ำตะแกรง เบอร์ 100	0.10
รวม	1.00

อัตราส่วนวัสดุ	โดย น้ำหนัก	โดย ปริมาตร
CSF/C	0.17	0.24
W/C	0.20	0.63
W/(C+CSF)	0.17	0.51
QS/C	0.79	0.94
QS/A	0.38	0.39
C/A	0.48	0.41
SP/(C+CSF)	0.05	0.15

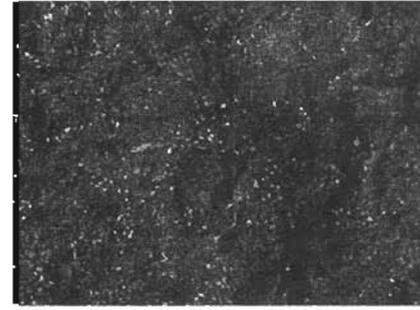
อายุ	วิธีบ่ม	ค่ากำลังอัด		
		No. 1 (กก/ซม ²)	No. 2 (กก/ซม ²)	เฉลี่ย (กก/ซม ²)
28 วัน	น้ำ	1,510.93	1,429.83	1,470.38

หมายเหตุ: ใช้ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 ซม. ในการทดสอบกำลัง

6. ปัญหาและอุปสรรคร่วมแนวทางแก้ไข

ปัญหาและอุปสรรคที่พบสำหรับการผลิตคอนกรีตกำลังสูงแบ่งตามขั้นตอนการทำงานออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ การเตรียมวัสดุ และการผสมและหล่อลงแบบ

การเตรียมวัสดุ ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการเตรียมวัสดุ สามารถนำเสนอเป็นหัวข้อได้ดังนี้



รูปที่ 9 ลักษณะคอนกรีตที่ใช้ในการแข่งขัน คอนกรีตพลังช้าง ครั้งที่ 3

1. ไม่สามารถจัดหาวัสดุได้ทันการใช้งาน เช่น ปริมาณวัสดุไม่พอ ผลิตไม่ทัน ขนส่งล่าช้า เป็นต้น แนวทางป้องกัน คือ ต้องตรวจสอบจากทางผู้ผลิตวัสดุแต่เนิ่นๆ ก่อนทำการผสมคอนกรีตว่ามีวัสดุเพียงพอหรือไม่ ถ้าไม่สามารถหาได้ทันเวลาต้องแก้ไขโดยการหาวัสดุอื่นมาทดแทน สำหรับในกรณีนี้ต้องทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุทดแทนด้วยว่ามีคุณสมบัติเพียงพอหรือไม่ ซึ่งควรจะทำเพื่อเวลาไว้สำหรับทดสอบวัสดุทดแทนนี้

2. คุณภาพของวัสดุไม่ได้มาตรฐาน หรือไม่ได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นควรคัดเลือกวัสดุที่ผลิตใหม่ ๆ จากโรงงาน โดยเฉพาะปูนซีเมนต์ และซิลิกาฟูม และควรเผื่อเวลาไว้สำหรับการหาวัสดุที่ได้คุณภาพจากผู้ผลิตรายต่างๆ

3. เวลาที่ใช้ในการเตรียมวัสดุไม่พอ ดังที่กล่าวมาเกี่ยวกับการจัดเตรียมวัสดุนั้น ซึ่งในแต่ละขั้นตอนที่ต้องใช้เวลามากพอสมควร เช่น คัดขนาดทราย คัดขนาดหิน ล้างทราย ล้างหิน หรือนำทรายผึ่งลมให้แห้ง เป็นต้น ซึ่งถ้ามีปริมาณมากก็ต้องใช้เวลาอีก ข้อผิดพลาดเหล่านี้อาจเกิดจากวัสดุมาล่าช้า หรือเกิดจากการประมาณเวลาในการเตรียมวัสดุต่ำกว่าที่ต้องใช้จริง แนวทางป้องกัน คือ เผื่อเวลาในการเตรียมวัสดุไว้ให้เพียงพอ

4. การควบคุมคุณภาพในการเตรียมวัสดุไม่ดีพอมักเกิดจากการปล่อยปละละเลยของผู้ควบคุมเพราะคิดว่าเป็นงานที่ไม่สำคัญ การแก้ไข คือ การควบคุมทุกขั้นตอนให้ได้ตามที่ออกแบบไว้ให้มากที่สุด

การผสมและหล่อลงแบบ ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการผสมและการหล่อสามารถนำเสนอเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. อุณหภูมิหรือสภาพอากาศในขณะที่ผสม ซึ่งในกรณีที่อากาศร้อน จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำที่ใช้ในการผสมให้กับบรรยากาศและอุปกรณ์ผสม ทำให้ส่วนผสมไม่เหลวตามที่ต้องการ การแก้ไข คือ การเพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้นเพื่อชดเชยกับปริมาณน้ำที่สูญเสียไปดังกล่าว แต่การควบคุม

จะทำให้ยาก และคอนกรีตอาจจะไม่ได้กำลังตามที่ต้องการ โดยให้สังเกตจากสภาพความชื้นเหลวของคอนกรีตสด ถ้าเหลวได้ระดับที่ต้องการแล้วก็หยุดเติมน้ำได้ ถึงแม้จะเหลือน้ำที่จะเติมน้ำก็ตาม

2. การสูญเสียการไหลของคอนกรีตสด เนื่องจากใส่สารเพิ่มความลื่นไหลสูงมากเกินไป ควรใช้สารเพิ่มความลื่นไหลสูงไม่เกินร้อยละ 5 ของปริมาณปูนซีเมนต์รวมกับซิลิกาฟุ่มโดยน้ำหนัก ซึ่งโดยส่วนใหญ่ผู้ผลิตจะแนะนำไม่ให้ใช้เกินร้อยละ 6 ของปริมาณปูนซีเมนต์รวมกับซิลิกาฟุ่มโดยน้ำหนัก

3. การเหน้าลงเครื่องผสมเร็วเกินไป เนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตกำลังสูงมากนั้นน้อยมาก และถ้าเหน้าลงไปเร็วเกินไป น้ำจะไม่กระจายไปผสมกับปูนซีเมนต์อย่างทั่วถึง ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะแห้ง อาจต้องเติมน้ำเพิ่มซึ่งทำให้ควบคุมยาก วิธีปฏิบัติ คือ เหน้าลงในเครื่องผสมอย่างช้าๆ โดยสังเกตให้น้ำค่อยๆ ไหลอย่างสม่ำเสมอ

4. ระยะเวลาในการผสมนานเกินไป จนคอนกรีตเกิดการก่อตัวมากขึ้น จะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้การเทลงแบบและบดอัดทำได้ยากขึ้น ดังนั้นต้องควบคุมให้การผสมและเทคอนกรีตอยู่ภายในเวลาไม่เกิน 60 นาที (ในการวิจัยและพัฒนาต่อไป อาจใช้สารผสมเพิ่มชนิดอื่นๆ ช่วยทำให้คอนกรีตก่อตัวช้าลงในระหว่างการผสม โดยที่ไม่ทำให้คอนกรีตสูญเสียกำลังทั้งในระยะแรกและระยะยาว)

5. ปัญหาและอุปสรรคจากปัจจัยภายนอกที่ทำให้การผสมหยุดชะงักไม่ต่อเนื่อง เช่น ไฟดับ เครื่องผสมเสีย เป็นต้น เป็นสาเหตุให้ผสมไม่ได้ภายในเวลาที่กำหนด หรืออาจจะผสมต่อไม่ได้เลยซึ่งทำให้สูญเสียวัสดุที่กำลังผสมนั้นไปทั้งหมด เป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณอย่างมาก ดังนั้นควรมีการตรวจสอบปัจจัยภายนอกต่างๆ ให้พร้อมก่อนทำการผสม

6. ปัญหาความไม่เรียบบนผิวหน้าตัวอย่างทดสอบ ส่งผลให้หน่วยแรงอัดกระจายไม่สม่ำเสมอ ทั้งหน้าตัดเวลาทดสอบกำลังอัด อาจทำให้เกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือน ซึ่งกำลังของคอนกรีตสำหรับแรงเฉือนนี้มีค่าต่ำกว่าแรงอัดมาก ดังนั้นต้องป้องกันโดยการใช้เกรียง และ/หรือ กระจกปาดผิวหน้าตัวอย่างคอนกรีตสดที่อยู่ในแบบหล่อให้เรียบ และได้ระดับมากที่สุด เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดที่แท้จริงของคอนกรีตจากการทดสอบ

7. สรุป

รายงานฉบับนี้ได้นำเสนอเทคนิคและวิธีการผสมคอนกรีตกำลังสูงซึ่งมีกำลังประมาณ 1,000-1,500 กก./ซม.²

โดยได้กล่าวถึงปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตในภาคทฤษฎี และการปฏิบัติเพื่อให้สอดคล้องตามแนวทฤษฎี รวมทั้งการป้องกันและแก้ไขอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติ ซึ่งจุดที่สำคัญอยู่ที่การควบคุมคุณภาพการทำงานทุกขั้นตอนให้ได้ที่สุดเพราะเป็นงานที่ละเอียด ซึ่งในการผลิตเพื่อใช้งานจริง อาจจะต้องทำการพัฒนาหน่วยการเตรียมวัสดุ การผสม และการบ่มเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพและควบคุมได้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ต้องอาศัยทั้งทรัพยากรบุคคล และเงินทุนมากพอสมควร

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ได้นำเสนอในบทความนี้เป็น การเน้นเพื่อให้คอนกรีตได้กำลังสูงมากตามต้องการเพียงอย่างเดียว ไม่ได้เน้นไปในคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความสามารถในการไหลและระยะเวลาการทำงานของคอนกรีตสด การหดตัวของคอนกรีตหลังจากแข็งตัวแล้ว ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น คุณสมบัติความทึบน้ำ ความต้านทานสารเคมี เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีความสำคัญต่อการใช้งานจริง ซึ่งต้องทำการศึกษาและวิจัยเพิ่มเติม อย่างน้อยข้อมูลในบทความนี้ซึ่งนำเสนอความเป็นไปได้ในการผลิตที่ได้กำลังสูงก็จะเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการพัฒนาคุณสมบัติอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งานจริงต่อไป

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Abrams, D.A. "Design of Concrete Mixtures". Bulletin 1, Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago, USA, Dec. 1918.
- [2] A.M. Neville. "Properties of Concrete", Fourth and Final Edition, Longman Group Limited, England, 1995.
- [3] Metha, P.K. and Monteiro Paolo J.M., "Concrete : Microstructure, Properties and Materials", Second Edition, The McGraw-Hill Companies Inc., USA, 1993.

