รายการละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง

SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY CONSTRUCTION

เล่มที่ 2

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

DEPARTMENT OF HIGHWAYS, MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS

BANGKOK 10400, THAILAND

รายการละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง

SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY CONSTRUCTION

เล่มที่ 2

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

DEPARTMENT OF HIGHWAYS, MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATONS

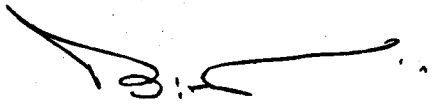
BANGKOK 10400, THAILAND

คำนำ

กรมทางหลวงได้จัดทำรายการละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 1 ซึ่งเป็นคู่มือ ควบคุมงานก่อสร้างทางในส่วนที่เกี่ยวกับงานทางไว้ใช้งานแล้วตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 สำหรับรายการละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวงฉบับนี้เป็นเล่มที่ 2 ใช้ควบคุมงานก่อสร้างทางในส่วนที่เกี่ยวกับงานโครงสร้าง ซึ่งในงานโครงสร้างของกรมทางหลวงส่วนใหญ่เป็นงานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ต้องการการควบคุมงานอย่างใกล้ชิด โดยผู้ควบคุมงานที่มีความรู้ความเข้าใจอย่างแท้จริง เพื่อให้ได้ผลงานที่ถูกต้องตาม รูปแบบ มีความมั่นคงแข็งแรงบนพื้นฐานตามหลักวิชาการ

ในการนี้ กรมทางหลวงได้ตั้งคณะกรรมการพิจารณา ปรับปรุง แก้ไขข้อกำหนดและจัดทำคู่มือควบคุมการก่อสร้างและบูรณะทางหลวง โดยได้พิจารณาแก้ไขปรับปรุง จากคู่มือควบคุมการก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยมฉบับเดิม พร้อมทั้งเพิ่มเติมรายละเอียดต่าง ๆ เช่น สารผสมเพิ่ม วัสดุสำหรับใส่รอยต่อแผ่นยางรองรับพื้นสะพาน สารยึดอีพ็อกซีเรซิน ฯลฯ ให้เหมาะสมกับสภาวการณ์ วิวัฒนาการทางวิชาการ และเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป

เนื้อหาสาระในเล่มที่ 2 ประกอบด้วย งานโครงสร้างคอนกรีต งานสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก งานท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก และงานท่อกลมคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนที่เหลือคือ งานเบ็ดเตล็ดจะได้จัดทำเป็นเล่มที่ 3 ต่อไป กรมทางหลวงหวังว่า เอกสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่เจ้าหน้าที่ของกรมทางหลวง ตลอดจนส่วนราชการอื่น ๆ และเอกชน จะได้นำไปใช้ให้การปฏิบัติงานมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น



(นายประพล สมุทระประภูต)
อธิบดีกรมทางหลวง

คำสั่งกรมทางหลวง

ที่ จ.3.1/33/2536

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการปรับปรุง แก้ไข ข้อกำหนด และจัดทำคู่มือควบคุมการก่อสร้างและบูรณะทางหลวง

อนุสนธิจากคำสั่งกรมทางหลวง ที่ จ.3.1/78/2534 ลงวันที่ 21 ตุลาคม 2534 เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการปรับปรุง แก้ไข ข้อกำหนด และจัดทำคู่มือควบคุม การก่อสร้างและบูรณะทางหลวงนั้นเนื่องจากคณะกรรมการฯ บางรายได้ย้ายและลาออก เพื่อให้งานแล้วเสร็จสมบูรณ์ในเวลาอันรวดเร็วกรมฯ จึงแต่งตั้งคณะกรรมการฯ ชุดใหม่ ประกอบด้วย

1.	นายองอาจ	คูหาภินันทน์	วิศวกรโยธา 8	กองก่อสร้างทางหลวงจังหวัด	ประธานกรรมการ
2.	นายพรชัย	จูประพัทธศรี	วิศวกรโยธา 7	กองก่อสร้างทางหลวงจังหวัด	กรรมการ
3.	นายชัยสวัสดิ์	กิตติพรไพบูลย์	วิศวกรโยธา 7	กองก่อสร้างทางหลวงแผ่นดิน	กรรมการ
4.	นายประเสริฐ	วรัญญูรัตนะ	วิศวกรโยธา 7	สำนักงานก่อสร้างที่ 3	กรรมการ
5.	นายพงษ์ชัย	วิภาสุรมณฑล	วิศวกรโยธา 7	กองบริหารโครงการเงินกู้	กรรมการ
6.	นายนพดล	ประไพตระกูล	วิศวกรโยธา 8	กองสำรวจและออกแบบ	กรรมการ
7.	นายชาญชัย	เตชัสหงส์	วิศวกรโยธา 7	กองสำรวจและออกแบบ	กรรมการ
8.	นายชัยพร	บุญศิริ	วิศวกรโยธา 7	กองสำรวจและออกแบบ	กรรมการ
9.	นายอัศวิน	กรรณสูต	วิศวกรโยธา 7	กองสำรวจและออกแบบ	กรรมการ
10.	นายเกษม	ศรีวรานันท์	วิศวกรโยธา 7	กองสำรวจและออกแบบ	กรรมการ
11.	นายสุเวทย์	ชลานันต์	วิศวกรโยธา 7	สำนักงานก่อสร้างที่ 4	กรรมการ
12.	นายจิตพันธ์	ประกอบพร	วิศวกรโยธา 7	สำนักงานก่อสร้างที่ 4	กรรมการ

13. นายวิโรจน์	ลัฐิกาวิบูลย์	วิศวกรโยธา 7	สำนักงานก่อสร้างที่ 4	กรรมการ
14. นายยงยุทธ	แต้ศิริ	วิศวกรโยธา 7	กองวิเคราะห์และวิจัย	กรรมการ
15. นายชาญชาลี	สารชวนะกิจ	วิศวกรโยธา 7	กองก่อสร้างทางหลวงจังหวัด	กรรมการและเลขานุการ
16. นายณัฐสม	สงวนวงษ์	วิศวกรโยธา 5	กองวิเคราะห์และวิจัย	กรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

ให้คณะกรรมการฯ ดังกล่าว มีหน้าที่ดังต่อไปนี้ :-

1. พิจารณาดำเนินการปรับปรุง แก้ไข ข้อกำหนด และจัดทำคู่มือ ในการควบคุมการก่อสร้าง และบูรณะทางหลวง

2. ให้คณะกรรมการดำเนินการตามข้อ 1 ให้แล้วเสร็จโดยเร็ว

ให้ยกเลิกคำสั่งที่ จ.3.1/78/2534 ลงวันที่ 21 ตุลาคม 2534
ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2536

(นายสนั่น ศรีรุ่งโรจน์)
อธิบดีกรมทางหลวง

คำสั่งกรมทางหลวง

ที่ จ.3.1/73/2536

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการปรับปรุง แก้ไขข้อกำหนด และจัดทำคู่มือ ควบคุมการก่อสร้างและบูรณะทางหลวง เพิ่มเติม

อนุสนธิคำสั่งกรมทางหลวง ที่ จ.3.1/33/2536 ลงวันที่ 24 มีนาคม 2536 เรื่องแต่งตั้งคณะกรรมการปรับปรุง แก้ไขข้อกำหนด และจัดทำคู่มือควบคุมการก่อสร้างและบูรณะทางหลวง นั้น

เพื่อให้การพิจารณา ดำเนินการเป็นไปอย่างรอบคอบมีประสิทธิภาพ และรวดเร็วยิ่งขึ้นอธิบดีกรมทางหลวงจึงแต่งตั้งคณะกรรมการฯ เพิ่มเติมอีก 3 นาย ประกอบด้วย:-

1. นายวันชัย	ภาคลักษณ์	วิศวกรโยธา 8	กองสำรวจและออกแบบ
2. นายวันชัย	จันทร์สว่างภูวนะ	วิศวกรโยธา 7	กองสำรวจและออกแบบ
3. นายกำพล	อุรุยศ	วิศวกรโยธา 7	กองสำรวจและออกแบบ

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2536

(นายสนั่น ศรีรุ่งโรจน์)
อธิบดีกรมทางหลวง

สารบาญ

หน้า

ส่วนที่ 5 งานโครงสร้าง 1

5.1 งานโครงสร้างคอนกรีต 3

5.1.1 วัสดุ 3
5.1.2 การทดสอบวัสดุ 14
5.1.3 ส่วนผสมคอนกรีต 17
5.1.4 การควบคุมคุณภาพของคอนกรีต 44
5.1.5 การชั่งตวงวัสดุ 46
5.1.6 การผสมคอนกรีต 49
5.1.7 อุณหภูมิของคอนกรีตสด 53
5.1.8 การขนส่งคอนกรีต 54
5.1.9 การเทคอนกรีต 55
5.1.10 การทำให้คอนกรีตแน่น 60
5.1.11 การบ่มคอนกรีต 61
5.1.12 งานเหล็กเสริมธรรมดา 63
5.1.13 งานเหล็กเสริมสำหรับคอนกรีตอัดแรง 70
5.1.14 แบบหล่อคอนกรีต, ค้ำยัน, นั่งร้าน และโครงสร้างชั่วคราว 83
5.1.15 งานฐานราก 86
5.1.16 สารยึดอีพ็อกซีเรซินสำหรับคอนกรีต 90
5.1.17 วัสดุสำหรับใส่รอยต่อ 90

5.2 งานสะพานคอนกรีต 92

5.2.1 ก่อนเริ่มดำเนินการ 92
5.2.2 การดำเนินงานฐานราก 94
5.2.3 งานตอม่อ, คาน, พื้น และโครงสร้างอื่น ๆ 97

5.2.4 งานแผ่นยางรองรับพื้นสะพานตามแนวคาน 97
5.2.5 การวัดปริมาณงานและการจ่ายค่างาน 99

5.3 งานท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก 101

5.3.1 การดำเนินงานฐานราก 101
5.3.2 งานโครงสร้างของท่อเหลี่ยม 102
5.3.3 การวัดปริมาณงานและการจ่ายค่างาน 102

5.4 งานท่อกลมคอนกรีตเสริมเหล็ก 103

ส่วนที่ 5 งานโครงสร้าง
(STRUCTURES)

5.1 งานโครงสร้างคอนกรีต (Portland Cement Concrete Structure)

หมายถึง การก่อสร้างในส่วนที่เป็นงานโครงสร้างคอนกรีตทั้งหมด หรือเป็นงานโครงสร้างคอนกรีตส่วนหนึ่ง โดยมีคุณภาพตามข้อกำหนด ซึ่งข้อกำหนดนี้จะครอบคลุมถึงงานคอนกรีตเสริมเหล็ก งานคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานคอนกรีตอัดแรง งานคอนกรีตที่ใช้สารเคมีผสมเพิ่ม ทั้งนี้ต้องก่อสร้างให้ได้แนว ระดับ ขนาด และมิติตามที่แสดงไว้ในแบบ โดยได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานด้วย

คอนกรีตเป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด และอาจใส่สารเคมีผสมเพิ่มก็ได้

5.1.1 วัสดุ

5.1.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ ที่ใช้ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาตรฐานเลขที่ มอก.15 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาตรฐานมีอยู่ 5 ประเภทด้วยกัน คือ

ประเภท 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในงานคอนกรีตที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรงหรือในที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือเมื่อเกิดการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้ความร้อนเพิ่มขึ้นถึงอันตรายกับโครงสร้าง

ประเภท 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) มีปริมาณ Tricalcium Aluminate ($3CaO.Al_2O_3$ หรือ C_3A) น้อยกว่าประเภท 1 และให้ความร้อนน้อยกว่า มีความต้านทานซัลเฟตได้สูงกว่าประเภท 1 แต่ปริมาณของ Tricalcium Aluminate ต้องไม่เกินร้อยละ 8 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 2 นี้ สำหรับใช้ในงานคอนกรีตที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง

ประเภท 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High-Early Strength Portland Cement) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ให้กำลังสูงในระยะแรกมีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ผลิตโดยใช้การบดอย่างละเอียดและหรือเพิ่มปริมาณ Tricalcium

Silicate ($3CaO.Sio_2$ หรือ C_3S) และ Tricalcium Aluminate ขึ้นอีก มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้เร็ว หรือรื้อแบบเร็ว เช่น งานคอนกรีตอัดแรง เป็นต้น การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 3 นี้ ควรระวังในเรื่องควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตไม่ให้สูงเกินขอบเขตด้วยมิฉะนั้นจะทำให้คอนกรีตเกิดรอยร้าวได้ง่าย

ประเภท 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement) ผลิตขึ้นโดยใช้ Tricalcium Aluminate น้อย แต่ใช้ Dicalcium Silicate ($2CaO.Sio_2$ หรือ C_2S) มาก ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้มากในงานก่อสร้างพวกคอนกรีตหลา (mass concrete) เนื่องจากเกิดความร้อนของคอนกรีตต่ำกว่าประเภทอื่นขณะแข็งตัว

ประเภท 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ต้านทานซัลเฟตได้ดี เพราะมีปริมาณของ Tricalcium Aluminate น้อยมาก ปกติไม่เกินร้อยละ 5 เหมาะสำหรับใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำเค็ม น้ำหรือดินที่เป็นด่าง (Alkaline) สูง ปูนซีเมนต์ประเภท 5 นี้ มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภท 1

การใช้งานของปูนซีเมนต์ประเภทต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้น โดยทั่วไปแล้วให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในส่วนผสมคอนกรีต และใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5 ในส่วนผสมคอนกรีตของโครงสร้างที่ต้องป้องกันการกัดกร่อนของน้ำเค็ม ดินเค็ม หรือสภาวะแวดล้อมที่มีซัลเฟตสูง สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทอื่นนั้น จะใช้แทนปูนซีเมนต์ประเภท 1 ในกรณีพิเศษเมื่อได้รับความยินยอมจากกองเจ้าของงานเป็นลายลักษณ์อักษรเท่านั้น

ปูนซีเมนต์ผงหรือปูนซีเมนต์ถุงซึ่งใช้ในแต่ละครั้ง จะต้องไม่เป็นเม็ดหรือเป็นก้อน ห้ามนำปูนซีเมนต์ถุงเก่าที่เปิดแล้วมาใช้

5.1.1.2 น้ำ

น้ำที่ใช้ในการผสมและบ่มคอนกรีตต้องได้รับความเห็นชอบ จากนายช่างผู้ควบคุมงาน โดยต้อง สะอาด ปราศจาก น้ำมัน กรด ด่าง เกลือ น้ำตาล วัชพืช หรือสารอื่นใด

ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม น้ำที่นำมาใช้ต้องเป็นน้ำจากแหล่งเดียวกันและเมื่อทำการทดสอบตาม AASHTO T26: Quality of Water to be Used in Concrete ต้องมีความเข้มข้นของสารละลายต่าง ๆ ในน้ำได้ไม่เกิน กว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5.1-1

ตารางที่ 5.1-1 ค่ากำหนดความเข้มข้นของสารละลาย และอนุมูลในน้ำ

ชนิดของโครงสร้าง	ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ (ppm.)		
	สารละลายอื่น ๆ	อนุมูลคลอไรด์	อนุมูลซัลเฟต
คอนกรีตไม่เสริมเหล็ก	2,000	2,000	1,500
คอนกรีตเสริมเหล็ก	2,000	1,000	1,000
คอนกรีตอัดแรง	2,000	500	1,000

น้ำที่ขุ่นหากจะนำมาใช้ต้องทำให้ตกตะกอนเสียก่อนและความขุ่นของน้ำต้องไม่เกิน 2,000 ppm.

ในกรณีที่ไม่สามารถจะหาน้ำที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดนี้ได้ หรือในกรณีสงสัยว่าน้ำอาจมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมที่จะใช้ผสมหรือบ่มคอนกรีต ให้ทำการทดสอบคุณภาพน้ำตาม AASHTO T106: Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar โดยการหล่อแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ ถ้าความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ซึ่งหล่อโดยน้ำที่เก็บทดสอบเมื่อแท่งคอนกรีตอายุ 7 วัน และ 28 วัน มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ที่หล่อโดยน้ำกลั่น ก็ให้ถือว่าน้ำนั้นสามารถจะใช้ผสมหรือบ่มคอนกรีตได้

น้ำจากแหล่งน้ำที่นำมาใช้ผสมหรือบ่มคอนกรีต ให้ทำการทดสอบคุณภาพน้ำอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง

ในกรณีที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นว่า น้ำที่นำมาผสมหรือบ่มคอนกรีตมีคุณภาพเปลี่ยนไป ให้ทำการทดสอบคุณภาพน้ำทันที

5.1.1.3 สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต (Chemical Admixtures of Concrete)

หมายถึงสารเคมีที่ใช้เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีตก่อนผสมหรือขณะผสม ซึ่งสามารถแบ่งออกตามวัตถุประสงค์การใช้งานได้ 7 ประเภทดังนี้

(1) ประเภทที่ 1 สารลดน้ำ (Water-reducing admixture) หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำที่จะต้องใช้ผสมคอนกรีต เพื่อให้ได้ความข้นเหลวตามต้องการ

(2) ประเภทที่ 2 สารหน่วงการก่อตัว (Retarding admixture) หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อหน่วงเวลาการก่อตัว

(3) ประเภทที่ 3 สารเร่งการก่อตัว (Accelerating admixture) หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติม ลงไปในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดเวลาการก่อตัว ทำให้คอนกรีตรับแรงได้เร็วขึ้น

(4) ประเภทที่ 4 สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (Water-reducing and retarding admixture) หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำที่จะต้องใช้ผสมคอนกรีตและหน่วงเวลาการก่อตัว

(5) ประเภทที่ 5 สารลดน้ำและเร่งการก่อตัว (Water-reducing and accelerating admixture) หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำที่จะต้องใช้ผสมคอนกรีตและลดเวลาการก่อตัว ทำให้คอนกรีตรับแรงได้เร็วขึ้น

(6) ประเภทที่ 6 สารลดน้ำพิเศษ (Water-reducing admixture, high range) หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำตั้งแต่ร้อยละ 12 ขึ้นไป

(7) ประเภทที่ 7 สารลดน้ำพิเศษและหน่วงการก่อตัว (Water-reducing, high range and retarding admixture) หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำตั้งแต่ร้อยละ 12 ขึ้นไป ที่จะต้องใช้ผสมคอนกรีต เพื่อให้ได้ความข้นเหลวตามกำหนดและหน่วงเวลาการก่อตัว

สารผสมเพิ่มแต่ละประเภทยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดเหลว และชนิดผงสารผสมเพิ่มที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 733 ส่วนประกอบของสารผสมเพิ่ม ต้องไม่มีสารเคมีในปริมาณที่อาจจะเป็นอันตรายต่อเหล็กเสริมและปูนซีเมนต์

สำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก สารผสมเพิ่มที่ใช้จะต้องไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ผสมอยู่ในองค์ประกอบทางเคมีของสารผสมเพิ่มนั้น และต้องไม่มีอนุมูลคลอไรด์ชนิดอื่น ๆ ปนอยู่เกินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของสารผสมเพิ่ม

สำหรับงานคอนกรีตอัดแรง สารผสมเพิ่มที่ใช้จะต้องไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ อนุมูลฟลูออไรด์ อนุมูลซัลเฟต และอนุมูลไนเตรท ผสมอยู่ในองค์ประกอบทางเคมีของสารผสมเพิ่มนั้น และจะต้องไม่มีอนุมูลคลอไรด์ชนิดอื่น ๆ ปนอยู่เกินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของสารผสมเพิ่ม

ในกรณีของสารผสมเพิ่มแบบไม่กระจายกักฟองอากาศ ปริมาณอากาศในคอนกรีตสดขณะทดสอบไม่เกินร้อยละ 3 โดยปริมาตร ในกรณีของสารผสมเพิ่มแบบกระจายกักฟองอากาศ ปริมาณอากาศในคอนกรีตสดขณะทดสอบต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 3.5 ถึง 7 โดยปริมาตร

5.1.1.4 สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีต (Air-entraining Admixtures for Concrete)

หมายถึง สารเคมีที่เติมลงในคอนกรีตก่อนผสมหรือขณะผสมเพื่อให้เกิดฟองอากาศเล็ก ๆ ระหว่างการผสมกระจายและคงตัวอยู่ในปริมาณที่ต้องการ ทำให้เทคอนกรีตได้ง่ายขึ้น

สารกระจายกักฟองอากาศแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผงและชนิดเหลว สารกระจายกักฟองอากาศที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 874

5.1.1.5 สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหล (Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete)

หมายถึง สารเคมีที่ใช้เติมลงในส่วนผสมคอนกรีตก่อนผสมหรือขณะผสมเพื่อให้สามารถเทคอนกรีตได้ง่ายขึ้น (High Workability) ในลักษณะของคอนกรีตไหล (Flowing Concrete) ซึ่งให้ค่าความยุบตัว (Slump) สูงกว่า 190 มิลลิเมตร และสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการใช้งานคือ

(1) ประเภทที่ 1 สารเพื่อการไหล (Plasticizing admixture) หมายถึงสารผสมเพิ่มที่ทำให้คอนกรีตไหลได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเพิ่มน้ำ และไม่หน่วงการก่อตัวของคอนกรีต

(2) ประเภทที่ 2 สารเพื่อการไหลและหน่วงการก่อตัว (Plasticizing and retarding admixture) หมายถึง สารผสมเพิ่มที่ทำให้คอนกรีตไหลได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มน้ำ แต่หน่วงการก่อตัวของคอนกรีต

สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหลแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดผงและชนิดเหลว สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหลที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสารเคมี ผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหล มาตรฐานเลขที่ มอก. 985

สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีตและสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหลทุกชนิดนั้น ภาชนะที่ใช้บรรจุทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลขอักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผลิตภัณฑ์

(2) ประเภทและชนิด

(3) ชื่อสารเคมีหลักในสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีต สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีตและสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหลแต่ละชนิดตามที่ระบุไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

(4) สิ่งที่เหลือจากการอบ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ และคุณสมบัติอื่น ๆ ตามที่ระบุไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

(5) ปริมาณสุทธิ เป็นน้ำหนักหรือปริมาตร

(6) เดือน ปีที่ผลิต หรือรหัสรุ่นที่ผลิต

(7) ชื่อผู้ผลิตหรือโรงงานที่ผลิต หรือเครื่องหมายการค้า หรือชื่อผู้จัดจำหน่าย

(8) คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีใช้ มาตรการว่าด้วยความปลอดภัยในการใช้และการเก็บรักษา

(9) วันหมดอายุ หรืออายุการใช้งาน

สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีตและสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหลที่ใช้ในงานคอนกรีต หากมิได้ระบุไว้ในแบบจะต้องได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน

สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีตและสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหลทุกชนิดต้องใช้ตามคำแนะนำเกี่ยวกับวิธีใช้โดยเคร่งครัดหากผลการใช้สารผสมเพิ่มในงานคอนกรีตไม่เป็นไปตามที่ต้องการ นายช่างผู้ควบคุมงานอาจพิจารณาระงับการใช้สารผสมเพิ่มชนิดดังกล่าว

สารผสมเพิ่มอื่น ๆ สำหรับคอนกรีต นอกเหนือจากที่กล่าวไว้ในข้อ 5.1.1.3, 5.1.1.4 และ 5.1.1.5 แล้ว หากจะนำมาใช้ต้องได้รับความยินยอมจากกองเจ้าของงานเป็นลายลักษณ์อักษรก่อน

5.1.1.6 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)

มวลรวมหยาบต้องประกอบด้วย หินย่อย กรวด หรือกรวดย่อยที่มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยม หรือกลม มีเนื้อแข็ง เหนียว ไม่ผุ ไม่มีลักษณะแบนหรือยาวมากเกินไป สะอาด ไม่มีฝุ่นผง หรือสิ่งอื่นใดเคลือบผิว มวลรวมหยาบต่างชนิดกันห้ามนำมาผสมกัน หรือกองรวมเป็นกองเดียวกันหรือใช้ร่วมกันในงานก่อสร้างที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่องโดยไม่ได้รับอนุญาตจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน

หากมิได้ระบุคุณสมบัติไว้เป็นอย่างอื่น มวลรวมหยาบที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) มีค่าความสึกหรอ เมื่อทดลองตาม ทล.-ท.202 "วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion" ไม่เกินร้อยละ 40

(2) ไม่เป็นหิน หรือกรวด ชนิดเนื้อหยาบพรุน โดยที่เมื่อผ่านการทดลองแช่น้ำไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว น้ำหนักของมวลรวมนั้นจะต้องไม่เพิ่มขึ้นจากเดิมเกินกว่าร้อยละ 10

(3) มีค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เมื่อทดลองตาม ทล.-ท.213 "วิธีการทดลองหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม" โดยใช้โซเดียมซัลเฟตจำนวน 5 รอบแล้วไม่เกินร้อยละ 9

(4) มีค่าดรรชนีความแบน เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.210 แล้วไม่เกินร้อยละ 35

(5) มีค่าดรรชนีความยาว เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.211 แล้วไม่เกินร้อยละ 35

(6) ต้องไม่มีวัสดุอันไม่พึงประสงค์อื่นใดเจือปนอยู่เกินกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5.1-2

ตารางที่ 5.1-2 ปริมาณสูงสุดของวัสดุไม่พึงประสงค์ในมวลรวมหยาบ

วัสดุไม่พึงประสงค์	ร้อยละโดยมวล
ก้อนดินและสะเก็ดวัสดุอ่อนที่แตกง่าย	2.0
ถ่านหินและลิกไนท์	0.5
มวลรวมที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มม. (เบอร์ 200)	
- อนุภาคดิน	1.0
- อนุภาคหิน	1.5
เกลือคลอไรด์	0.05

การทดสอบหาปริมาณสูงสุดของวัสดุไม่พึงประสงค์ในมวลรวมหยาบให้ดำเนินการอย่างน้อยทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงแหล่งวัสดุ หรือตามความจำเป็น

(7) มีขนาดคละ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.204 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง" ตามตารางที่ 5.1-3 ส่วนขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้ ถ้าไม่ได้ระบุไว้ในแบบ ควรมีขนาดไม่เกิน 1 ใน 5 ของส่วนที่บางที่สุดของโครงสร้าง และต้องไม่เกิน 3 ใน 4 ของช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม ทั้งนี้โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน

ตารางที่ 5.1-3 ขนาดคละของมวลรวมหยาบสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีต

ขนาดระบุ มิลลิเมตร	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล									
	63 มม.	50 มม.	37.5 มม.	25.0 มม.	19.0 มม.	12.5 มม.	9.5 มม.	4.75 มม.	2.36 มม.	1.18 มม.
50-4.75	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
37.5-4.75		100	95-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
25.0-4.75			100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
19.0-4.75				100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
12.5-4.75					100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
9.5-2.36						100	85-100	10-30	0-10	0-5

(8) ห้ามกองมวลรวมหยาบกีดขวางการจราจร การกองมวลรวมหยาบจะต้องป้องกันไม่ให้วัสดุอื่นมาปะปน หากมีต้องล้างให้สะอาดก่อนนำมาใช้งาน มวลรวมหยาบต่างชนิดและขนาดให้แยกคนละกอง ถ้าเกิดการแยกตัวก็ให้คลุกเคล้าให้เข้ากันใหม่

5.1.1.7 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)

มวลรวมละเอียดต้องประกอบด้วย เม็ดทรายธรรมชาติ หรืออนุภาคของหินที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมหรือเหลี่ยม ไม่แบนเป็นเกล็ด มีผิวหยาบและเม็ดแข็ง ทนทาน สะอาด ปราศจากฝุ่นผงเคลือบ มวลรวมละเอียดจากแหล่งวัสดุต่างแหล่งกันห้ามนำมาผสมกัน หรือกองรวมเป็นกองเดียวกัน หรือใช้ร่วมกันในการก่อสร้างงานคอนกรีตชั้นคุณภาพเดียวกันที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยไม่ได้รับอนุญาตจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน

หากมิได้ระบุคุณสมบัติของมวลรวมละเอียดไว้ในแบบเป็นอย่างอื่น มวลรวมละเอียดที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) ต้องไม่มีดิน เถ้าถ่าน สารอินทรีย์ต่าง ๆ ด่าง สารอนินทรีย์จำพวกอนุมูลคลอไรด์ หรือสิ่งปลอมปนอื่นใด ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลอันไม่พึงประสงค์กับคอนกรีตหรือเหล็กเสริมได้เกินกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5.1-4

ตารางที่ 5.1-4 ปริมาณสูงสุดของวัสดุไม่พึงประสงค์ในมวลรวมละเอียด

วัสดุไม่พึงประสงค์	ร้อยละโดยมวล
ก้อนดินและเศษผง	1.0
ถ่านหินและลิกไนท์	1.0
มวลรวมที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.07 มม. (เบอร์ 200)	3.0
เกลือคลอไรด์	0.1

สิ่งปลอมปนอื่น ๆ เช่น Shale, Alkali, Mica, Coated Grains, Soft and Flaky Particles ที่ทำให้ความแข็งแรงของคอนกรีตลดลงเกินกว่าร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับความแข็งแรงของคอนกรีตที่ปราศจากสิ่งแปลกปลอมนั้น ๆ

(2) มีค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.213 "วิธีการทดลองหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม" โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบแล้วไม่เกินร้อยละ 9

(3) สะอาดปราศจากอินทรีย์วัตถุเจือปนในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อคอนกรีต โดยเมื่อทดสอบหา Organic Impurities ในมวลรวมละเอียด ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.201 "วิธีการทดลองหา Organic Impurities ในทรายสำหรับคอนกรีต" แล้ว มวลรวมละเอียดดังกล่าวให้สีซึ่งไม่แก่กว่าสีมาตรฐาน

มวลรวมละเอียดที่ให้สีแก่กว่ามาตรฐาน ห้ามนำมาใช้ ยกเว้นเหตุจำเป็นอาจให้นำมาใช้ได้โดยต้องทำการทดสอบตามวิธีการ AASHTO T 71: "Effect of Organic Impurities in Fine Aggregate on Strength of Mortar" แล้วความต้านแรงอัดของแท่งรูปลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตรของส่วนผสมมอร์ตาร์ที่อายุครบ 7 วัน และ 28 วัน มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความต้านแรงอัดของส่วนผสมมอร์ตาร์ ที่หล่อโดยใช้มวลรวมละเอียดชนิดเดียวกัน แต่ผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดเสียก่อน ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน

ให้นำไปใช้กับรายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวงเล่มที่ 1 ข้อ 4.9.1.4 (3) ด้วย

(4) มีขนาดคละ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.204 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ด ของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง" ตามตารางที่ 5.1-5

ตารางที่ 5.1-5 ขนาดคละของมวลรวมละเอียดสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีต

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร (นิ้ว)	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล
9.5 (3/8 นิ้ว)	100
4.75 (เบอร์ 4)	95-100
1.18 (เบอร์ 16)	45-85
0.300 (เบอร์ 50)	10-30
0.150 (เบอร์ 100)	2-10

5.1.2 การทดสอบวัสดุ

ค่าใช้จ่ายในการนี้ผู้รับจ้างต้องเป็นผู้รับผิดชอบทั้งสิ้น

5.1.2.1 การทดสอบปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ในกรณีที่สงสัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้งาน ให้นายช่างผู้ควบคุมงานเก็บตัวอย่างปูนซีเมนต์เพื่อทดสอบคุณภาพได้

การเก็บตัวอย่างปูนซีเมนต์ จะเก็บที่โรงงานผลิตหรือสถานที่ก่อสร้างก็ได้โดยให้เป็นไปตามวิธีการที่กำหนดไว้ใน มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มาตรฐานเลขที่ มอก. 15

การทดสอบคุณภาพของปูนซีเมนต์ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มาตรฐานเลขที่ มอก. 15

ปูนซีเมนต์ผงที่นำมาใช้ต้องมีผลการทดสอบคุณภาพจากโรงงานผู้ผลิตกำกับรถบรรทุกปูนซีเมนต์ผงนั้น จะต้องมีการปิดผนึกอย่างแน่นหนา และผนึกนั้นจะต้องไม่เปิดก่อนที่จะส่งมอบปูนซีเมนต์ผง

ผู้รับจ้างจะต้องเตรียมสถานที่ จัดเก็บและระบบควบคุมคุณภาพที่ดี เสนอต่อนายช่างผู้ควบคุมงานให้เห็นชอบก่อนเก็บและนำมาใช้งาน

5.1.2.3 การทดสอบสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต

ผู้รับจ้างจะต้องเสนอตัวอย่างข้อมูลจำเพาะและชื่อสารเคมีหลักของสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีตที่ต้องการใช้ รวมทั้งหลักฐานการทดลองคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตที่ใช้สารผสมเพิ่มดังกล่าวให้นายช่างผู้ควบคุมงานพิจารณาก่อน

การทดสอบสารผสมเพิ่ม ให้ดำเนินการทดสอบคุณลักษณะการใช้งานและการทดสอบคุณลักษณะทางฟิสิกส์และปริมาณสารเคมี ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 733

สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต ที่ได้รับอนุญาตให้แสดงเครื่องหมายมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 733 ให้นำมาใช้ได้โดยไม่ต้องทำการทดสอบอีก

5.1.2.4 การทดสอบสารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีต

ผู้รับจ้างจะต้องเสนอตัวอย่างข้อมูลจำเพาะและชื่อสารเคมีหลักของสารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีตที่ต้องการใช้ รวมทั้งหลักฐานการทดลองคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตที่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศดังกล่าวให้นายช่างผู้ควบคุมงานพิจารณาก่อน

การทดสอบสารกระจายกักฟองอากาศ ให้ดำเนินการทดสอบคุณลักษณะการใช้งานและการทดสอบคุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางปริมาณสารเคมี ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 874

สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีต ที่ได้รับอนุญาตให้แสดงเครื่องหมายมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 874 ให้นำมาใช้ได้โดยไม่ต้องทำการทดสอบอีก

5.1.2.5 การทดสอบสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีตไหล

ผู้รับจ้างจะต้องเสนอตัวอย่างข้อมูลจำเพาะและชื่อสารเคมีหลักของสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีตไหลที่ต้องการใช้ รวมทั้งหลักฐานการทดลองคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตที่ใช้สารเคมีผสมเพิ่ม สำหรับทำคอนกรีตไหลดังกล่าวให้นายช่างผู้ควบคุมงานพิจารณาก่อน

การทดสอบสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหล ให้ดำเนินการทดสอบคุณลักษณะการใช้งานและทดสอบคุณลักษณะทางฟิสิกส์ และปริมาณสารเคมีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหล มาตรฐานเลขที่ มอก. 985

สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหล ที่ได้รับอนุญาตให้แสดงเครื่องหมายมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหล มาตรฐานเลขที่ มอก. 985 ให้นำมาใช้ได้ โดยไม่ต้องทำการทดสอบอีก

5.1.2.6 การทดสอบมวลรวม

การเก็บตัวอย่างมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด ให้ดำเนินการตามวิธีการเก็บตัวอย่างตาม AASHTO T2 : Sampling Aggregate

มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจะต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามข้อกำหนดวิธีการทดสอบมวลรวมให้ดำเนินการตามวิธีการดังนี้

(1) ปริมาณมวลรวมที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ให้ดำเนินการทดสอบตาม AASHTO T 11 : Amount of Material Finer Than 0.075 mm Sieve in Aggregate

(2) ค่าความพรุนของมวลรวมหยาบ ให้ดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 207 "วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ" โดยอนุโลม

(3) ขนาดคละของมวลรวม ให้ดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.204 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง"

(4) ความสะอาดของมวลรวม ให้ดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.201 "วิธีการทดลองหา Organic Impurities ในทรายสำหรับคอนกรีต"

(5) ค่าความสึกหรอของมวลรวมหยาบ ให้ดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 202 "วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion"

(6) ความคงทน (Soundness) ของมวลรวม ให้ดำเนินการทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.213 "วิธีการทดลองหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม"

(7) ความแบน ให้ดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.210 "วิธีการทดลองหาค่าดรรชนี ความแบน (Flakiness Index)"

(8) ความยาว ให้ดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.211 "วิธีการทดลองหาค่าดรรชนีความยาว (Elongation Index)"

(9) คุณสมบัติของมอร์ตาร์ ให้ดำเนินการทดสอบตาม AASHTO T 71 : Effect of Organic Impurities in Fine Aggregate on Strength of Mortar

(10) ปริมาณก้อนดินและเศษวัสดุอ่อนที่แตกง่าย ให้ดำเนินการทดสอบตาม AASHTO T112 : Clay Lumps and Friable Particles in Aggregate

(11) ปริมาณถ่านหินและลิกไนท์ ให้ดำเนินการทดสอบตาม AASHTO T 113 : Light weight Pieces in Aggregate

ผู้รับจ้างจะต้องดำเนินการส่งมอบตัวอย่างมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่ผ่านการทดสอบแล้วจำนวน 30 กิโลกรัม ให้แก่นายช่างผู้ควบคุมงานเพื่อเก็บไว้เป็นมาตรฐานจนกว่างานคอนกรีตจะแล้วเสร็จ และนายช่างผู้ควบคุมงานจะต้องออกเอกสารซึ่งบันทึกเกี่ยวกับคุณสมบัติของมวลรวมดังกล่าวให้แก่ผู้รับจ้างเก็บไว้เป็นหลักฐานด้วย

ในการเทคอนกรีตทุก ๆ 500 ลูกบาศก์เมตร ให้เก็บตัวอย่างมวลรวมมาทำการทดสอบหาขนาดคละของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด และทดลองหาความสะอาดของมวลรวมละเอียดอย่างน้อย 1 ครั้ง

ถ้ามวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดลักษณะแตกต่างไปจากตัวอย่างมวลรวมมาตรฐานที่เก็บไว้ที่นายช่างผู้ควบคุมงาน ให้ดำเนินการเก็บตัวอย่างมวลรวมมาทำการทดสอบใหม่บางรายการหรือทุกรายการตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร

5.1.3 ส่วนผสมคอนกรีต

ก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้างงานโครงสร้างคอนกรีต ผู้รับจ้างจะต้องดำเนินการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตในแต่ละชั้นคุณภาพ ให้มีคุณสมบัติตามที่ระบุไว้ในแบบ ในการออกแบบส่วนผสมจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางด้านความคงทนต่อสภาวะอากาศและความสึกหรอความต้านแรงอัด ความสามารถเทได้ ความง่ายในการปรับแต่งผิวหน้า ความต้านทานการซึมน้ำ และลักษณะเนื้อผิวของคอนกรีตแต่ละชั้นคุณภาพให้เหมาะสมกับส่วนของโครงสร้างต่าง ๆ ด้วย

ตามปกติคอนกรีตของโครงสร้างได้กำหนดคุณสมบัติของคอนกรีตไว้ 3 ลักษณะ คือ ลักษณะที่ 1 ระบุค่าความต้านแรงอัดต่ำสุดและระบุส่วนผสมที่แน่นอน ลักษณะที่ 2 ระบุเฉพาะความต้านแรงอัดต่ำสุดไว้ ให้ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ตามตารางที่ 5.1-6 โดยไม่ต้องคำนึงถึงชนิดของโครงสร้าง และลักษณะที่ 3 ซึ่งไม่ระบุทั้งความต้านแรงอัดต่ำสุดและส่วนผสมที่แน่นอนไว้ ให้ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ตามชนิดของโครงสร้าง ตามตารางที่ 5.1-6

ตารางที่ 5.1-6

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชั้นคุณภาพของคอนกรีต ความต้านแรงอัด ชนิดของโครงสร้าง ปริมาณปูนซีเมนต์และขนาดระบุของมวลรวมหยาบ

ชั้นคุณภาพของคอนกรีต	ค่าความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ ขนาด 150 มม. เมื่ออายุ 28 วัน (เมกาปาสกาล)	ชนิดของโครงสร้าง	ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้น้อยสุด (กก./ลบ.ม.)	ขนาดระบุของมวลรวมหยาบ (มิลลิเมตร)
A พิเศษ	40	1. คานและเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง (Precast prestressed concrete beams and piles) 2. โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงหล่อในที่ (Cast-in situ prestressed concrete structures) 3. พื้นแบริงยูนิต (Bearing unit slabs)	400	19.0-4.75
A	30	1. คอนกรีตเททับหน้า (Concrete topping for prestressed concrete bridges) 2. พื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced concrete bridge decks) 3. พื้นเชิงลาดสะพาน (Approach slabs) 4. เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก (Precast reinforced concrete pile)	350	37.5-4.75
B	20	1. ตอม่อสะพาน เสาเข็มตอกและคานยึดตอม่อ (Reinforced concrete bridge piers, pile bents and braced beams)	350	37.5-4.75 หรือ 19.0-4.75

ชั้นคุณภาพของคอนกรีต	ค่าความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ขนาด 150 มม. เมื่ออายุ 28 วัน (เมกาปาสกาล)	ชนิดของโครงสร้าง	ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้น้อยสุด (กก./ลบ.ม.)	ขนาดระบุของมวลรวมหยาบ (มิลลิเมตร)
C	18	2. ตอม่อริมฝั่งและฐานรากสะพาน (Abutments and bridge footings) 3. กำแพงกันดิน (Reinforced concrete retaining walls) 4. ขอบทาง ทางเท้า และราวสะพาน (Barriers, sidewalks and railings) 5. ขอบทาง (Curbs) และรางระบายน้ำ (Gutters) 6. ท่อระบายน้ำรูปกล่องและกำแพงปากท่อ (Box culverts including headwalls) 7. โครงสร้างป้องกันตอม่อริมฝั่ง (Abutment protectors) 1. กำแพงปากท่อสำหรับท่อกลม (Reinforced concrete pipe headwalls)	320	

หมายเหตุ 1. เมกาปาสกาล เท่ากับ 10.197 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2. คอนกรีตหยาบ (Lean Concrete) ให้ใช้ส่วนผสม 1:3:6 โดยปริมาตร

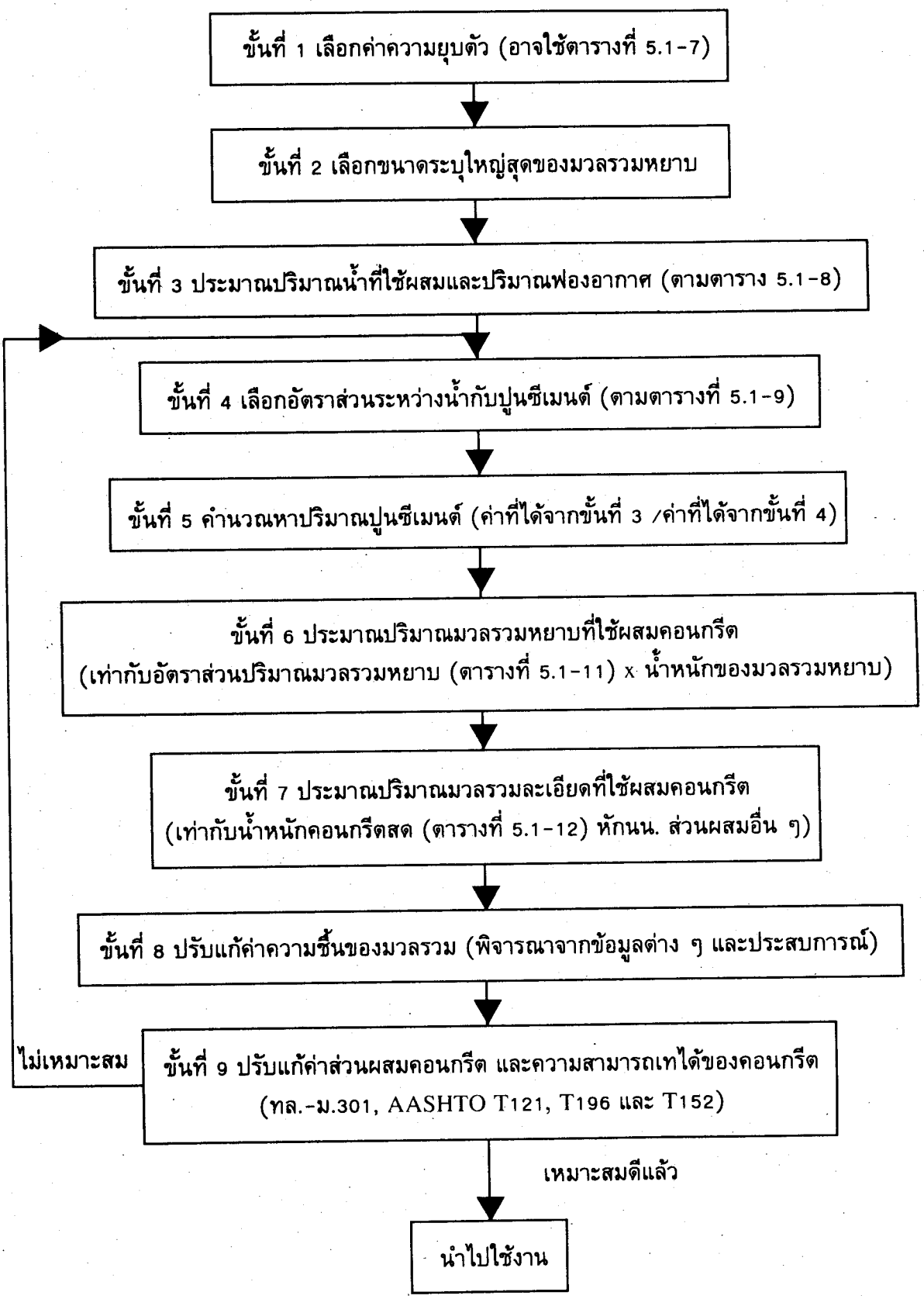
5.1.3.1 องค์ประกอบของส่วนผสมคอนกรีต

วัสดุต่าง ๆ ของส่วนผสมคอนกรีต ต้องเป็นไปตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้ตามข้อ 5.1.1

5.1.3.2 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

สำหรับขั้นตอนที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมนี้ เป็นขั้นตอนที่แนะนำเพื่อเป็นแนวทางในการ ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยใช้คอนกรีตน้ำหนักปกติ (Normal Weight Concrete) เป็นเกณฑ์พิจารณา ซึ่งขั้นตอนมีดังต่อไปนี้ (สามารถพิจารณาจากแผนภูมิการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตได้)

(1) ขั้นที่ 1 การเลือกหาค่าความยุบตัว (Slump) ถ้าหากไม่ได้ระบุค่าความยุบตัว (Slump) ไว้ในแบบ ค่าที่เหมาะสมสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 5.1-7 ซึ่งเป็นค่าความยุบตัว (Slump) ของคอนกรีตที่มีความข้นเหลวที่ข้นที่สุดและสามารถเทลงแบบได้ โดยใช้เครื่องสั่นสะเทือนช่วยในการทำให้คอนกรีตแน่นด้วย



แผนภูมิการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ตารางที่ 5.1-7 ค่าความยุบตัว (Slump) สำหรับโครงสร้างชนิดต่าง ๆ

ชนิดของโครงสร้าง	ค่าความยุบตัว (Slump) มิลลิเมตร	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	75	25
ฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็กและโครงสร้างใต้ดิน	75	25
คาน กำแพง และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	100	25
เสาโครงสร้าง	100	25
พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	75	25
คอนกรีตหลา (Mass Concrete)	50	25

หมายเหตุ ค่าความยุบตัว (Slump) สามารถเพิ่มมากกว่าค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 5.1-7 ได้เมื่อใช้สารเคมีผสมสำหรับคอนกรีตหรือสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับทำคอนกรีตไหล โดยให้เป็นไปตาม ข้อ 5.1.1.3, 5.1.1.5, 5.1.2.3 และ 5.1.2.5

(2) ขั้นที่ 2 การเลือกขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ (Nominal Maximum Size of Aggregate) เนื่องจากขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบที่มีขนาดใหญ่และมีขนาดคละที่ดีจะมีช่องว่าง (Void) น้อยกว่าขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบที่มีขนาดเล็กกว่าและมีขนาดคละที่ดีจึงเป็นผลให้ใช้มอร์ตาร์น้อยกว่าในปริมาณคอนกรีตที่เท่ากันด้วย ดังนั้นโดยปกติแล้วจะใช้ขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบที่มีขนาดใหญ่และทำงานได้เพื่อประหยัดปริมาณมอร์ตาร์

ขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบต้องไม่เกิน 1 ใน 5 ของระยะห่างระหว่างแบบสองข้างที่แคบที่สุด หรือไม่เกิน 1 ใน 3 ของความหนาของพื้น หรือไม่เกิน 3 ใน 4 ของระยะห่างน้อยที่สุด (Clear Spacing) ระหว่างเหล็กเสริม หรือกลุ่มเหล็กเสริม หรือเกลียวลวดเหล็กเสริมอัดแรง ซึ่งข้อกำหนดเหล่านี้ อาจจะยกเว้นได้ในกรณีที่ใช้คอนกรีตซึ่งมีความสามารถเทได้ดี โดยไม่ทำให้คอนกรีตที่เทลงไปในแบบมีช่องว่าง (Honeycomb or Void)

ในโครงสร้างที่ใช้เหล็กเสริม หรือท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงจำนวนมากผู้รับจ้างซึ่งเป็นผู้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต จะต้องเลือกขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบซึ่งสามารถเทคอนกรีตได้โดยไม่เกิดการแยกตัวและช่องว่างขึ้นในคอนกรีต

เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้คอนกรีตที่มีค่าความต้านแรงอัดสูง (High Strength Concrete) ควรจะลดขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบลงบ้าง เพื่อให้ได้ค่าความต้านแรงอัดที่สูงตามค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ที่กำหนดไว้

(3) ขั้นที่ 3 การประมาณปริมาณน้ำที่ใช้ผสมและปริมาณของฟองอากาศ ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อหน่วยน้ำหนักปริมาตรของคอนกรีตขึ้นอยู่กับขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ รูปร่างและขนาดของมวลรวม อุณหภูมิคอนกรีต ปริมาณของฟองอากาศ และการใช้สารผสมเพิ่ม ปริมาณน้ำที่ใช้สามารถประมาณได้ตามตารางที่ 5.1-8 เนื่องจากรูปร่างและผิวเนื้อของมวลรวมมีผลต่อปริมาณน้ำที่ใช้ ดังนั้นค่าที่แนะนำให้ใช้จึงอาจเปลี่ยนแปลงไปบ้าง แต่ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตควรใช้ค่าที่แนะนำเป็นเกณฑ์เริ่มต้น

ตารางที่ 5.1-8

ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตโดยประมาณ (กก./ลบ.ม.) และปริมาณฟองอากาศที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบที่ค่าต่าง ๆ

ค่าความยุบตัว (Slump) (มม.)	ขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ (มม.)					
	9.5	12.5	19	25	37.5	50
	ก. ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ					
25 - 50	207	199	190	179	166	154
75 - 100	228	216	205	193	181	169
150 - 175	243	228	216	202	190	178
ปริมาณฟองอากาศโดยประมาณ (เปอร์เซ็นต์)	3	2.5	2	1.5	1	0.5

ข. ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ

ค่าความยุบตัว (มม.)	ขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ (มม.)					
25 - 50	181	175	168	160	150	142
75 - 100	202	193	184	175	165	157
150 - 175	216	205	197	184	174	166
ปริมาณของฟองอากาศโดยประมาณสำหรับโครงสร้างที่สัมผัสกับสภาวะแวดล้อม (Exposure) แบบต่าง ๆ (เปอร์เซ็นต์)						
-สัมผัสกับสภาวะแวดล้อมน้อย (Mild Exposure)	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
-สัมผัสกับสภาวะแวดล้อมปานกลาง (Moderate Exposure)	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0
-สัมผัสกับสภาวะแวดล้อมมาก (Severe Exposure)	7.5	7.0	6.0	6.0	6.5	5.0

หมายเหตุ 1. ในกรณีที่ใช้สารผสมเพิ่ม ปริมาณของน้ำที่ใช้ละลายสารผสมเพิ่มชนิดที่เป็นผง หรือปริมาณของสารผสมเพิ่มชนิดที่เป็นของเหลว ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตด้วย

2. โครงสร้างที่สัมผัสกับสภาวะแวดล้อมน้อย (Mild Exposure) หมายถึงโครงสร้างคอนกรีตที่ใช้งานภายในร่มและภายนอกในสภาพที่โครงสร้างไม่ถูกสัมผัสกับสภาพที่น้ำเป็นน้ำแข็งได้ หรือสัมผัสกับสารที่ทำให้น้ำแข็งละลายได้ เช่น เกลือ เป็นต้น

3. โครงสร้างที่สัมผัสกับสภาวะแวดล้อมปานกลาง (Moderate Exposure) หมายถึงโครงสร้างคอนกรีตที่ใช้งานในสภาพที่น้ำเป็นน้ำแข็งได้ แต่โครงสร้างนั้นจะต้องไม่ถูกแช่น้ำหรือถูกความชื้นเป็นเวลานานติดต่อกัน และไม่สัมผัสกับเกลือหรือสารทำลายคอนกรีตอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น คาน เสา ผนัง คานซอย หรือพื้น ซึ่งอยู่ในบริเวณที่มีอากาศหนาวเย็นมาก เป็นต้น และโครงสร้างเหล่านั้นจะต้องไม่สัมผัสกับดินที่เปียกชื้น และไม่อยู่ในบริเวณที่จะสัมผัสกับเกลือหรือสารที่สามารถทำลายคอนกรีตได้

4. โครงสร้างที่สัมผัสกับสภาวะแวดล้อมมาก (Severe Exposure) หมายถึงโครงสร้างคอนกรีตที่ใช้งานในสภาพที่สัมผัสกับเกลือหรือสารที่สามารถทำลายคอนกรีตได้ หรือโครงสร้างที่ต้องแช่น้ำติดต่อกันเป็นเวลานาน ตัวอย่างเช่น คอนกรีตคาดคลอง ถังน้ำ หรือบ่อพักน้ำ เป็นต้น

(4) ขั้นที่ 4 การเลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ ต้องคำนึงถึงทั้งค่าความต้านแรงอัดและความทนทานด้วย เพราะมวลรวมต่างชนิดกันหรือปูนซีเมนต์ต่างชนิดกัน หากใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์เท่ากัน ก็จะให้ค่าความต้านแรงอัดและความทนทานแตกต่างกันด้วย

ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลของชนิดมวลรวมและชนิดของปูนซีเมนต์ ค่าประมาณของอัตราส่วน ระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 สำหรับงานคอนกรีตที่ค่าความต้านแรงอัดต่าง ๆ สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 5.1-9

ตารางที่ 5.1-9

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์และค่าความต้านแรงอัด

ค่าความต้านแรงอัดที่ 28 วัน (MPa)	อัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์	
	ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ	ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ
45	0.42	-
40	0.47	0.39
35	0.54	0.45
30	0.61	0.52
25	0.69	0.60
20	0.79	0.70

หมายเหตุ 1. ค่าความต้านแรงอัดที่ 28 วัน เป็นความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตทดลองรูปลูกบาศก์ ขนาด 150 มม. ที่อายุครบ 28 วัน บ่มโดยการแช่น้ำ

2. ปริมาณฟองอากาศสำหรับคอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีต ต้องไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณฟองอากาศสำหรับคอนกรีตที่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีต ต้องไม่เกิน 6 เปอร์เซ็นต์

3. ขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบมีค่าระหว่าง 19 ถึง 25 มิลลิเมตร

และในกรณีที่โครงสร้างคอนกรีตนั้นต้องใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่อาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตมาก ให้มีอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ไม่มากกว่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 5.1-10

ตารางที่ 5.1-10
อัตราส่วนสูงสุดระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์
สำหรับคอนกรีตที่ต้องสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมที่อาจมีผลกระทบต่อคุณภาพคอนกรีตมาก

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกชื้นหรือถูกแดดฝนอยู่เสมอ	โครงสร้างสัมผัสน้ำทะเลหรือซัลเฟต
โครงสร้างที่มีรูปร่างบาง เช่น พื้นสะพาน ขอบและราวสะพาน และโครงสร้างที่มีคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมอยู่น้อยกว่า 25 มม.	0.45	0.40
โครงสร้างอื่น ๆ	0.50	0.45

หมายเหตุ ในโครงสร้างสัมผัสกับน้ำทะเลหรือซัลเฟต หากใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 5 อาจเพิ่มอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ได้อีกไม่เกิน 0.05

(5) ขั้นที่ 5 คำนวณหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมคอนกรีต (กก./ลบ.ม.) ซึ่งสามารถหาได้โดยใช้ค่าปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตในขั้นที่ 3 หารด้วยค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ในขั้นที่ 4 แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าปริมาณปูนซีเมนต์น้อยที่สุดที่ระบุไว้ในแบบ (ถ้ามี) โดยให้ใช้ค่าปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากกว่าเป็นเกณฑ์

(6) ขั้นที่ 6 ประมาณปริมาณมวลรวมหยาบที่ใช้ผสมคอนกรีต ให้ใช้อัตราส่วนปริมาณของมวลรวมหยาบที่แห้งด้วยเตาอบและกระทุ้งแน่น (Oven-Dry-Rodded Basis) ตาม AASHTO T 19:Unit Weight and Voids in Aggregate ใน 1 หน่วยปริมาตรของคอนกรีตสดตามตารางที่ 5.1-11 ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบและค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมละเอียด

ตารางที่ 5.1-11

อัตราส่วนปริมาณของมวลรวมหยาบที่แห้งด้วยเตาอบและกระทุ้งแน่น ใน 1 หน่วยปริมาตรของคอนกรีตสด

ขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ (มม.)	อัตราส่วนปริมาณของมวลรวมหยาบที่แห้งด้วยเตาอบและกระทุ้งแน่นใน 1 หน่วยปริมาตรของคอนกรีตสด			
	โมดูลัสความละเอียดของมวลรวมละเอียด			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72

หมายเหตุ อัตราส่วนปริมาตรของมวลรวมหยาบที่แห้งด้วยเตาอบและกระทุ้งแน่นในตารางนี้ ใช้สำหรับโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป ถ้าเป็นงานที่ต้องการความสามารถในการเทสูง เช่น งานคอนกรีตปั๊ม อาจจะลดอัตราส่วนนี้ได้อีกไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้โดยต้องรักษาสภาพของค่าความยุบตัว (Slump) อัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์และค่าความต้านแรงอัดของคอนกรีตตามที่แนะนำไว้ในขั้นที่ 1 และขั้นที่ 4 และต้องตรงตามข้อกำหนดในแบบทุกประการด้วย

(7) ขั้นที่ 7 ประมาณปริมาณมวลรวมละเอียดที่ใช้ผสมคอนกรีต ให้ใช้ปริมาณมวลรวมละเอียดด้วยการหักน้ำหนักของส่วนผสมต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ น้ำที่ใช้ผสมทั้งหมด ซีเมนต์ มวลรวมหยาบออกจากน้ำหนักของคอนกรีตสดใน 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งน้ำหนักของคอนกรีตสดสามารถประมาณครั้งแรกได้ตามตารางที่ 5.1-12

ตารางที่ 5.1-12

น้ำหนักของคอนกรีตสดสำหรับการประมาณครั้งแรก

ขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ (มม.)	น้ำหนักของคอนกรีตสดสำหรับการประมาณครั้งแรก (กก./ลบ.ม.)	
	ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ	ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ
9.5	2,280	2,200
12.5	2,310	2,230
19	2,345	2,275
25	2,380	2,290
37.5	2,410	2,350
50	2,445	2,345

หมายเหตุ 1. ค่าในตารางที่ 5.1-12 นี้ สามารถคำนวณโดยประมาณจากสมการ

$$U_M = 10\, G_m\, (100-A) + C_M\, (1-G_m/G_c) - W_M\, (G_m-1)$$

โดยที่

U_M เป็นค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสด กก./ลบ.ม.

G_m เป็นค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk, Saturated-Surface-Dry)

G_c เป็นค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ ปกติใช้ 3.15

A เป็นค่าของปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต ให้ใช้ตามตารางที่ 5.1-8

W_M เป็นค่าปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ให้ใช้ตามตารางที่ 5.1-8

C_M เป็นค่าปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมคอนกรีต

ตัวอย่าง

กำหนดให้

ขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ = 25 มม.

ค่าความยุบตัว = 75-100 มม.

ไม่ใช้ความกระจายกักฟองอากาศ

สมมุติให้

G_m = 27

A = 1.5 เปอร์เซ็นต์

C_M = 300 กก./ลบ.ม.

G_C = 3.15

W_M = 193 กก./ลบ.ม.

U_M = 10X2.7 (100-1.5)+300(1-2.7/3.15)-193 (2.7-1)

= 27 (98.5)+42.857-328.1

= 2,659.5+42.857-328.1

= 2,374 กก./ลบ.ม.

ซึ่งใกล้เคียงกับในตารางที่ 5.1-12

2. ถ้าใช้ปริมาณน้ำหนักแตกต่างไปจากตารางที่ 5.1-8 แล้ว ปริมาณน้ำทุก 5 กก. ที่แตกต่าง (ค่าความยุบตัว 75-100 มม.) จะแปรผกผันกับค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดทุก 8 กก./1 ลบ.ม.

ถ้าใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่แตกต่างไปจาก 330 กก. แล้ว ปริมาณปูนซีเมนต์ทุก

22 กก. ที่แตกต่าง จะแปรผันกับค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดทุก 3 กก. ถ้าใช้ค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดแตกต่างไปจาก 2.7 แล้ว ค่าที่แตกต่างไปทุก 0.1 จะแปรผันกับค่าหน่วยน้ำหนักคอนกรีตสดทุก 60 กก./1 ลบ.ม.

สำหรับคอนกรีตที่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีต ในแบบที่สัมผัสกับสภาวะแวดล้อม ค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดจะเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตสดลดลง 1 เปอร์เซ็นต์ จากปริมาณฟองอากาศเดิม

(8) ขั้นที่ 8 การปรับแก้ค่าความชื้นของมวลรวม ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวมต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต โดยในมวลรวมที่มีความชื้นปนอยู่ทั้งที่ผิวหน้าและภายใน เนื้อวัสดุต้องเผื่อน้ำหนักไว้ให้มากขึ้นด้วย นอกจากนี้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตจะต้องลดลงไปในจำนวนเท่ากับปริมาณน้ำอิสระ (Free Water) ที่ผสมอยู่ในมวลรวม

(9) ขั้นที่ 9 การปรับแก้ค่าส่วนผสมคอนกรีต ค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ต้องทำการตรวจสอบส่วนผสม ตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 301 "มาตรฐานการผสมตัวอย่างคอนกรีตสดในห้องทดลอง" คอนกรีตสดที่ได้จะต้องทำการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและปริมาณตามมาตรฐาน AASHTO T 121 : Weight per Cubic Foot, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete และทดสอบหาปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตตามมาตรฐาน AASHTO T 121 : หรือตามมาตรฐาน AASHTO T 196 : Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method หรือตามมาตรฐาน AASHTO T 152 : Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงความสามารถเทได้ การป้องกันการแยกตัว และการตบแต่งผิวหน้าของคอนกรีตสดด้วย

ในการใช้น้ำผสมคอนกรีตในห้องทดลองนั้น ถ้าหากพบว่าค่าความยุบตัว (Slump) ไม่ถูกต้อง สามารถปรับแก้โดยเพิ่มหรือลดน้ำจำนวน 2 กก. ต่อคอนกรีตสด 1 ลบ.ม. เพื่อเพิ่มหรือลดค่าความยุบตัว ทุก ๆ 10 มิลลิเมตร

ในการที่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีต การลดหรือเพิ่มน้ำจำนวน 3 กก. ต่อคอนกรีตสด 1 ลบ.ม. จะทำให้ปริมาณฟองอากาศเพิ่มหรือลดลงประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์

หลังจากปรับแก้ค่าต่าง ๆ แล้ว ให้คำนวณปริมาณส่วนผสมต่าง ๆ ตามสัดส่วนที่ทดลองผสมในห้องทดลอง เพื่อให้ได้ปริมาณของส่วนผสมต่าง ๆ ในคอนกรีตสด 1 ลบ.ม.

5.1.3.3 การกำหนดค่าความต้านแรงอัดของคอนกรีต

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตทดลองนั้น ควรออกแบบเผื่อให้คอนกรีตมีค่าเฉลี่ยของความต้านแรงอัดสูงกว่าค่าความต้านแรงอัดต่ำสุดที่ระบุไว้ในแบบ ทั้งนี้เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ว่า เมื่อทดสอบความต้านแรงอัดจากแท่งคอนกรีตทดลองอย่างน้อย 30 แท่ง ที่ทำจากส่วนผสมคอนกรีตทดลองดังกล่าวแล้วค่าความต้านแรงอัดเป้าหมายที่คำนวณจากสูตรต่อไปนี้ ต้องไม่น้อยกว่าค่าความต้านแรงอัดต่ำสุดที่ระบุไว้

$$F_{ck} = F_m + ZS \geqslant F_{cu}$$

โดยที่

F_{ck} = ค่าความต้านแรงอัดเป้าหมาย

F_m = ค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของแท่งคอนกรีตทดลอง จำนวนไม่น้อยกว่า 30 แท่ง

$$= \sum_{j=1}^{N} \frac{F_{cj}}{N}$$

F_{cd} = ค่าความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตทดลองแต่ละแท่ง

N = จำนวนแท่งคอนกรีตทดลอง (ไม่น้อยกว่า 30 แท่ง)

S = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของค่าความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตทดลองทั้งหมด

$$= \sqrt{\sum \frac{(F_{cj} - F_m)^2}{N - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{\sum (F_{cj}^{\ 2}) - (\sum F_{cj})^2}{N - 1}}$$

Z = สัมประสิทธิ์ของความน่าจะเป็นสำหรับส่วนที่ยอมให้ต่ำกว่าค่าความต้านแรงอัดเป้าหมาย ในที่นี้ยอมให้ต่ำกว่าได้ร้อยละ 5 ซึ่งค่า Z จะเท่ากับ -1.64

F_{cu} = ค่าความต้านทานแรงอัดต่ำสุดที่ระบุไว้

ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเก่าของส่วนผสมคอนกรีตในเกณฑ์เดียวกันมาก่อน ขอแนะนำให้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเพื่อให้มีความต้านแรงอัดสูงกว่าความต้านแรงอัดต่ำสุดที่ระบุไว้ไม่น้อยกว่า 5 เมกาปาสกาล ก่อน จากนั้นจึงค่อยปรับส่วนผสมอีกภายหลังเมื่อทราบผลการทดสอบค่าความต้านแรงอัดแล้ว

ตัวอย่าง เมื่อทำการทดสอบความต้านแรงอัดจากแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ขนาด 150 มม. เมื่ออายุ 28 วัน ซึ่งเป็นข้อมูลเก่าที่ทำจากส่วนผสมคอนกรีตทดลองตามขั้นตอนต่าง ๆ ตามที่แนะนำไว้เพื่อใช้เป็นคอนกรีตชั้นคุณภาพ A ตามตารางที่ 5.1-6 สำหรับคอนกรีตเททับหน้า (Concrete topping for prestressed concrete bridges) ได้ผลดังนี้

j	F_{cd} (เมกาปาสกาล)	$(F_{cd}-F_m)^2$
1	45	2.16
2	46	6.10
3	47	12.04
4	48	19.98
5	49	29.92

j	F_{cd} (เมกาปาสกาล)	$(F_{cd}-F_m)^2$
6	45	2.16
7	42	2.34
8	44	0.22
9	45	2.16
10	43	0.28
11	42	2.34
12	41	6.40
13	40	12.46
14	42	2.34
15	43	0.28
16	44	0.22
17	43	0.28
18	42	2.34
19	41	6.40
20	42	2.34
21	43	0.28
22	41	6.40
23	42	2.34
24	43	0.28
25	44	0.22
26	45	2.16
27	42	2.34

j	F_{cd} (เมกาปาสกาล)	$(F_{cd}-F_m)^2$
28	43	0.28
29	44	0.22
30	45	2.16
	F_{cd} = 1,306	$(F_{cd}-F_m)^2$ = 129.44

F_m = 1,306/30 = 43.53 เมกาปาสกาล

N-1 = 30-1 = 29

$$S = \sqrt{\sum \frac{(F_{cj}-F_m)^2}{N-1}}$$

= 2.11

$F_{ck} = F_m + ZS$

= 43.53 + (-1.64 X 2.11)

= 43.53-3.46

= 40.07 เมกาปาสกาล

ในกรณีนี้ตามตารางที่ 5.1-6 ค่าความต้านแรงอัดต่ำสุดต้องไม่น้อยกว่า 30 เมกาปาสกาล ดังนั้นส่วนผสมคอนกรีตนี้สามารถนำไปใช้ได้

5.1.3.4 ตัวอย่างการคำนวณหาส่วนผสมคอนกรีต

จากข้อมูลที่ระบุไว้มีดังนี้

- ข้อกำหนดคุณสมบัติของคอนกรีตที่ระบุไว้ในแบบ (คอนกรีตชั้นคุณภาพ A)
  ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีต

ค่าความต้านแรงอัดเป้าหมาย (F_{ck})	40	เมกาปาสกาล
ค่าความยุบตัว (Slump)	75-100	มิลลิเมตร
ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้น้อยสุด	350	กก./ลบ.ม.

- มวลรวมหยาบ

ขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ	37.5	มิลลิเมตร

น้ำหนักของมวลรวมหยาบที่แห้งด้วยเตาอบและกระทุ้งแน่น 1,600 กก./ลบ.ม.

ค่าความดูดซึมน้ำ	0.5	เปอร์เซ็นต์

- มวลรวมละเอียด

ค่าความดูดซึมน้ำ	0.7	เปอร์เซ็นต์
โมดูลัสความละเอียด	2.80	

- ใช้ปูนซีเมนต์ประเภท 1.

การคำนวณหาส่วนผสมคอนกรีตสามารถดำเนินการได้ดังนี้

(1) ขั้นที่ 1 ค่าความยุบตัว (Slump) อยู่ระหว่าง 75 ถึง 100 มิลลิเมตร

(2) ขั้นที่ 2 ขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ 37.5 มิลลิเมตร

(3) ขั้นที่ 3 ตามตารางที่ 5.1-8 เป็นคอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ ดังนั้นปริมาณน้ำสำหรับค่าความยุบตัว (Slump) ที่ 75-100 มิลลิเมตร และขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ 37.5 มม. คือ 181 กก./ลบ.ม.

(4) ขั้นที่ 4 อัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์สำหรับคอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศเพื่อให้ได้ค่าความต้านแรงอัด 40 เมกาปาสกาล

(MPa) สามารถหาได้จากตารางที่ 5.1-9 คือ 0.47

(5) ขั้นที่ 5 จากขั้นที่ 3 และขั้นที่ 4 สามารถหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสมคอนกรีต

คือ 181/0.47 = 385 กก./ลบ.ม.

(6) ขั้นที่ 6 หาปริมาณของมวลรวมหยาบได้ จากตารางที่ 5.1-11 โดยที่ค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมละเอียด 2.8 และขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ 37.5 มิลลิเมตร ดังนั้นจากตารางจะได้อัตราส่วนปริมาณของมวลรวมหยาบที่แห้งด้วยเตาอบและกระทุ้งแน่นใน 1 หน่วยปริมาตรของคอนกรีตสด เท่ากับ 0.71 หรือคิดเป็นน้ำหนักเท่ากับ 0.71x1,600 = 1,136 กิโลกรัม

(7) ขั้นที่ 7 หาปริมาณของมวลรวมละเอียดโดยหักน้ำหนักของส่วนผสมต่าง ๆ ออกจากน้ำหนักคอนกรีตสดซึ่งหาได้จากตารางที่ 5.1-12 ดังนี้

น้ำหนักน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต	181	กก.
ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้	385	กก.
มวลรวมหยาบที่ใช้	1,136	กก.
รวม	1,702	กก.

น้ำหนักของคอนกรีตสด จากตารางที่ 5.1-12 = 2,410 กก.

ดังนั้น มวลรวมละเอียดที่ใช้ = 2,410-1,702 = 708 กก.

(8) ขั้นที่ 8 ถ้าประมาณการได้ว่ามวลรวมหยาบมีความชื้นปนอยู่ 2 เปอร์เซ็นต์ และมวลรวมละเอียดมีความชื้นปนอยู่ 6 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการหาส่วนผสมมวลรวมจะต้องแก้ไขดังนี้

มวลรวมหยาบ (ความชื้น 2 เปอร์เซ็นต์) = 1,136X1.02 = 1,159 กก.

มวลรวมละเอียด (ความชื้น 6 เปอร์เซ็นต์) = 708X1.06 = 750 กก.

ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปในมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

ไม่นำไปคิดเป็นส่วนหนึ่งของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต

น้ำที่เหลืออยู่โดยรอบมวลรวมหยาบ = 2-0.5 = 1.5 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่เหลืออยู่โดยรอบมวลรวมละเอียด = 6-0.7 = 5.3 เปอร์เซ็นต์

นั่นคือปริมาณน้ำที่จะใช้ผสมคอนกรีต = 181-1,136 (0.015)-708 (0.053)

= 126 กก.

ดังนั้นใน 1 ลบ.ม. ส่วนผสมจะประกอบด้วย

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต	126	กก.
ปูนซีเมนต์	385	กก.
มวลรวมหยาบ (ความชื้น 2 เปอร์เซ็นต์)	1,159	กก.
มวลรวมละเอียด (ความชื้น 6 เปอร์เซ็นต์)	750	กก.
รวม	2,420	กก.

(9) ขั้นที่ 9 วิธีการแก้ค่าส่วนผสมคอนกรีตสดในห้องทดลองซึ่งสมมุติว่าใช้คอนกรีตสดจำนวน 0.02 ลบ.ม. (เพื่อความสะดวกในการผสม) ดังนั้นในคอนกรีตสด 0.02 ลบ.ม. จะประกอบด้วยน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต 126 X 0.02 = 2.52 กก. (จากการคำนวณ)

ให้ทำการทดลองผสมคอนกรีตจำนวน 0.02 ลบ.ม. โดยใช้อัตราส่วนตามที่คำนวณได้และวัดค่าความยุบตัว (Slump) ถ้าไม่ได้ค่าความยุบตัว (Slump) ตามความต้องการ ให้ทำการทดลองผสมใหม่ โดยการเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำตามความเหมาะสม

สาเหตุที่ปริมาณน้ำที่ใช้ทดลองผสมไม่เป็นไปตามที่คำนวณได้เนื่องมาจากความผันแปร (Variation) ของคุณสมบัติของคอนกรีตสด เช่น คุณสมบัติของมวลรวมหยาบ คุณสมบัติของมวลรวมละเอียด อุณหภูมิของอากาศขณะผสมคอนกรีต เป็นต้น

สมมุติทดลองเพิ่มปริมาณน้ำอีกประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ จากที่คำนวณได้ (2.52 กก.)

ดังนั้นจึงต้องใช้น้ำ 2.70 กก.

ปริมาณปูนซีเมนต์ 385X0.02 = 7.70 กก.

มวลรวมหยาบ (ความชื้น 2 เปอร์เซ็นต์) 1,159X0.02 = 23.18 กก.

มวลรวมละเอียด (ความชื้น 6 เปอร์เซ็นต์) 750X0.02 = 15.00 กก.

รวม 2.70+7.70+23.18+15.00 = 48.58 กก.

เมื่อทำการผสมแล้ว วัดค่าความยุบตัว (Slump) ได้ 50 มิลลิเมตรและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน AASHTO T121 : Weight per Cubic Foot, Yield, and Air- Content (Gravimetric) of Concrete มีค่า 2,390 กก./ลบ.ม. จึงต้องปรับแก้ค่าความยุบตัว (Slump) ให้ได้ถูกต้องตามความต้องการต่อไป

ดังนั้นปริมาณคอนกรีตที่ได้ = 48.58/2,390 = 0.0203 ลบ.ม. และปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมดเท่ากับน้ำที่ใช้ทดลองผสมรวมกับน้ำที่อยู่โดยรอบมวลรวมหยาบ (ภายหลังการหักค่าความดูดซึมน้ำแล้ว)รวมกับน้ำที่อยู่โดยรอบมวลรวมละเอียด(ภายหลังหักค่าความดูดซึมน้ำแล้ว)

= 2.70+(0.015X1,136X00.2)+(0.053X708X0.02) = 3.79 กก.

นั่นคือปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตใน 1 ลบ.ม. = 3.79/0.0203 = 187 กก. ตามที่แนะนำไว้ในข้อ 5.1.3.2 ในขั้นที่ 9 จะต้องเพิ่มน้ำอีก 8 กก. เพื่อเพิ่มค่าความยุบตัวจาก 50 มิลลิเมตร เป็น 75 ถึง 100 มิลลิเมตร ดังนั้นน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตใน 1 ลบ.ม. จะเท่ากับ 187+8 = 195 กก.

ในการเพิ่มน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต จะต้องให้ค่าของอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์คงที่ คือ 0.47 เพราะฉะนั้นปริมาณปูนซีเมนต์ = 195/0.47 = 415 กก.

เมื่อได้คุณสมบัติของคอนกรีตที่เหมาะสมแล้ว ปริมาณมวลรวมหยาบในคอนกรีต 1 ลบ.ม. จะต้องสอดคล้องกับที่ใช้ในห้องทดลอง

นั่นคือมวลรวมหยาบจะเป็น

23.18/0.0203 = 1,142 กก. (ความชื้น 2 เปอร์เซ็นต์)

หรือ = 1,142/1.02 = 1,120 กก. (สภาพแห้ง)

หรือ = 1,120X1.005 = 1,126 กก. (Saturated-Surface-Dry)

แล้วสำหรับปริมาณของมวลรวมละเอียดจะสามารถหาได้จาก

2,390-(195+415+1,126) = 654 กก. (Saturated-Surface-Dry)

หรือ = 654/1.007 = 649 กก. (สภาพแห้ง)

หรือ = 649X1.06 = 688 กก. (ความชื้น 6 เปอร์เซ็นต์)

เนื่องจากมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่จะนำมาใช้ผสมคอนกรีตมีความชื้นอยู่ 2 เปอร์เซ็นต์ และ 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่อยู่ในคอนกรีตสดนั้น อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated-Surface-Dry) จึงมีน้ำเหลืออยู่โดยรอบมวลรวมทั้งสองในคอนกรีตสดดังนี้

น้ำที่เหลืออยู่โดยรอบมวลรวมหยาบเป็นปริมาณ = 1,142-1,126 = 16 กก.

น้ำที่เหลืออยู่โดยรอบมวลรวมละเอียดเป็นปริมาณ = 688-654 = 34 กก.

นั่นคือน้ำที่จะใส่เพิ่มเข้าไปอีกมีปริมาณ = 195-16-34 = 145 กก.

ดังนั้นหลังจากปรับแก้ค่าต่าง ๆ แล้วส่วนผสมของคอนกรีตที่จะนำไปใช้งาน

ใน 1 ลบ.ม. จะประกอบด้วย

น้ำ	145 กก.
ปูนซีเมนต์	415 กก.
มวลรวมหยาบ (ความชื้น 2 เปอร์เซ็นต์)	1,142 กก.
มวลรวมละเอียด (ความชื้น 6 เปอร์เซ็นต์)	688 กก.
รวมน้ำหนักทั้งหมด	2,390 กก.

จากตัวอย่างข้างต้นนี้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการหาส่วนผสมคอนกรีตให้มีคุณสมบัติตามต้องการได้

5.1.3.5 การควบคุมส่วนผสมคอนกรีต

เมื่อนายช่างผู้ควบคุมงานให้ความเห็นชอบในรายการคำนวณและผลการทดสอบวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีตแล้ว ผู้รับจ้างจะต้องทำการทดลองผสมคอนกรีตเพื่อตรวจสอบความ

สามารถเทได้ (Workability) อัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ ความต้านแรงอัด ลักษณะผิวคอนกรีตที่ได้ และคุณสมบัติอื่น ๆ ที่จำเป็น เพื่อตรวจสอบว่าคอนกรีตดังกล่าวเหมาะสมสำหรับส่วนของโครงสร้างนั้น ๆ หรือไม่ นอกจากนี้ต้องตรวจสอบวิธีการขนส่งคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้วและเครื่องมือทำคอนกรีตให้แน่น ซึ่งในการทดลองผสมทั้งหมดนี้จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน

ส่วนผสมทดลองที่มีสัดส่วนและความข้นเหลวที่เหมาะสมสำหรับงานแต่ละงานจะต้องทดลองผสมโดยให้สัดส่วนที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์แตกต่างกันอย่างน้อย 3 ค่า โดยแต่ละสัดส่วนจะต้องมีค่าความต้านแรงอัดไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ ส่วนผสมที่ทดลองผสมจะต้องออกแบบให้มีค่าความยุบตัวแตกต่างจากค่าความยุบตัวสูงสุดที่กำหนดไว้ได้ไม่เกิน 25 มิลลิเมตร และให้วัดอุณหภูมิของคอนกรีตในแต่ละส่วนผสมทดลองด้วย

แต่ละอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ให้ดำเนินการจัดทำส่วนผสมคอนกรีตตามวิธีการที่ ทล.-ม. 301 "มาตรฐานการผสมตัวอย่างคอนกรีตสดในห้องทดลอง" แล้วหล่อแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์อย่างน้อย 9 แท่ง ตามวิธีการที่ ทล.-ม. 303 "มาตรฐานการหล่อแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์" ทำการบ่มจนได้อายุครบ 28 วัน หรือเร็วกว่า นำแท่งคอนกรีตตัวอย่างมาทดสอบความต้านแรงอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 409 จะต้องได้ค่าความต้านแรงอัดไม่น้อยกว่าค่าความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ที่อายุ 28 วัน ตามที่กำหนดไว้ จากผลการทดลองเหล่านี้จะได้กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์และค่าความต้านแรงอัด ซึ่งค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ที่จะใช้งานจริง ๆ อาจเลือกได้จากกราฟดังกล่าว

นายช่างผู้ควบคุมงานจะอนุญาตให้ใช้สัดส่วนของส่วนผสมคอนกรีตที่ได้ก็ต่อเมื่อค่าความต้านแรงอัดและปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้น้อยสุด (กก./ลบ.ม.) เป็นไปตามที่กำหนด

ส่วนผสมคอนกรีตที่ได้รับการตรวจสอบและอนุญาตแล้ว ห้ามมิให้เปลี่ยนแปลงส่วนผสมหรือเปลี่ยนแปลงชนิด ขนาด ช่วงของส่วนคละ ขนาดหรือแหล่งวัสดุที่ใช้เป็นองค์

ประกอบของส่วนผสม เว้นแต่จะได้รับความยินยอมจากนายช่างผู้ควบคุมงาน ซึ่งอาจกำหนดให้ทำส่วนผสมทดลองใหม่ก่อนที่จะอนุญาตให้เปลี่ยนแปลงส่วนผสมก็ได้

การดำเนินการทั้งหมดนี้จะต้องให้แล้วเสร็จก่อนเริ่มงานคอนกรีต และค่าใช้จ่ายในการนี้ ผู้รับจ้างต้องเป็นผู้รับผิดชอบทั้งสิ้น

5.1.3.6 กรณีใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete)

ในกรณีที่ใช้คอนกรีตผสมเสร็จ ผู้รับจ้างต้องดำเนินการหาส่วนผสมคอนกรีตตามข้อ 5.1.3 โดยเคร่งครัด สำหรับคอนกรีตผสมเสร็จที่ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ มาตรฐานเลขที่ มอก.213 ให้นำมาใช้ได้ โดยเลือกชั้นคุณภาพของคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งมีค่าความต้านแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน ของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์มากกว่าหรือเท่ากับค่าความต้านแรงอัดต่ำสุดที่กำหนดในแบบก่อสร้าง และต้องมีคุณสมบัติตรงตามข้อ 5.1.3 ด้วย

สำหรับชั้นคุณภาพของคอนกรีตตามมาตรฐานกรมทางหลวงนั้น สามารถเทียบกับชั้นคุณภาพคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้ตามตารางที่ 5.1-13

ตารางที่ 5.1-13

เปรียบเทียบชั้นคุณภาพของคอนกรีตตามมาตรฐานกรมทางหลวงกับชั้นคุณภาพคอนกรีตผสมเสร็จ (มอก. 213)

ชั้นคุณภาพของคอนกรีตตามมาตรฐานกรมทางหลวง	ชั้นคุณภาพคอนกรีตผสมเสร็จ (มอก.213)
A พิเศษ	c 40/35
A	c 30/25
B	c 25/20
C	c 20/15

5.1.4 การควบคุมคุณภาพของคอนกรีต

ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบควบคุมคุณภาพของคอนกรีตให้มีคุณภาพตรงตามที่กำหนดในแบบก่อสร้าง การตรวจสอบโดยนายช่างผู้ควบคุมงานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องที่กำหนดนั้น จะไม่เป็นการทำให้ผู้รับจ้างพ้นจากการรับผิดชอบต่อคุณภาพของคอนกรีตแต่อย่างใด

ผู้รับจ้างต้องจัดหาเครื่องมือทดสอบหาค่าความยุบตัว (Slump) และแบบหล่อแท่งคอนกรีต รูปลูกบาศก์ขนาด 150 มิลลิเมตร ประจำไว้ที่หน้างานให้เพียงพอ

5.1.4.1 ความถี่ในการทดสอบ

(1) โรงงานผลิตคอนกรีตและเครื่องมือ ต้องทำการตรวจสอบโรงงานผลิตคอนกรีตและอุปกรณ์ทุกครั้งต่อการผสมคอนกรีตประมาณ 1,000 ลูกบาศก์เมตร และในกรณีผสมคอนกรีตเพื่องานโครงสร้างที่สำคัญ นายช่างผู้ควบคุมงานจะสั่งการให้ทำการตรวจสอบโรงงานผลิตและเครื่องมือก่อนก็ได้ หรือในเวลาใดก็ตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร

เครื่องชั่งสำหรับชั่งมวลรวม ปูนซีเมนต์ รวมทั้งเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับใส่น้ำและสารผสมเพิ่มจะต้องตรวจสอบให้เป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 5.1.5

ผู้รับจ้างต้องทำการตรวจสอบโรงงานผลิตคอนกรีตและเครื่องมือต่าง ๆ ตามวิธีการที่ได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน

(2) คอนกรีตสด ให้ทำการทดสอบหาค่าความยุบตัว (Slump) ทุกครั้งที่นายช่างผู้ควบคุม งานเห็นสมควร และอย่างน้อยที่สุดต้องทำการทดสอบ 1 ครั้ง ต่อการผลิตคอนกรีต 25 ลูกบาศก์เมตร โดยทำการทดสอบเมื่อเริ่มเทคอนกรีต และทุกครั้งที่มีการหล่อแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ขนาด 150 มิลลิเมตร

(3) การทดสอบหาค่าความต้านแรงอัดของคอนกรีต การเก็บตัวอย่างสำหรับทดสอบหาค่า ความต้านแรงอัดของคอนกรีตแต่ละชั้นคุณภาพ ซึ่งทำการเทในแต่ละวันจะต้องเก็บไม่น้อยกว่าวันละ 1 ครั้ง หรือไม่น้อยกว่า 1 ครั้ง ต่อการผลิตคอนกรีตทุก 120 ลูกบาศก์เมตร หรือไม่น้อยกว่า 1 ครั้ง ต่อคอนกรีตที่ใช้เทพื้นหรือหล่อผนังทุกพื้นที่ 450 ตารางเมตร หรือไม่น้อยกว่า 1 ครั้ง ต่อคอนกรีตที่เทเป็นโครงสร้างแต่ละส่วน

5.1.4.2 การเตรียมการบ่มและการทดสอบแท่งคอนกรีตตัวอย่างจากสนาม

แท่งคอนกรีตตัวอย่างสำหรับใช้ทดสอบหาค่าความต้านแรงอัด จะต้องดำเนินการตาม AASHTO T 23 : Making and Curing Concrete Compressive and Flexural Strength Test Specimens in the Field และวิธีการบ่มแท่งคอนกรีตตัวอย่างจะต้องให้มีสภาพใกล้เคียงกับวิธีการบ่มคอนกรีตที่ในสนาม ตามที่ระบุไว้ในหัวข้อที่ 5.1.11

ค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของแท่งคอนกรีตตัวอย่างทั้ง 3 แท่ง ซึ่งได้จากการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 409 จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง ทั้งนี้อนุญาตให้มีแท่งคอนกรีตที่ให้ค่าความต้านแรงอัดต่ำกว่าที่กำหนดให้ในแบบ ได้ไม่เกิน 1 แท่ง แต่ต้องมีค่าความต้านแรงอัดไม่น้อยกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ของค่าที่กำหนด

5.1.4.3 การตรวจสอบค่าความต้านแรงอัดที่ต่ำกว่ามาตรฐาน

ในกรณีที่ทดสอบหาค่าความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างไม่เป็นไปตามข้อ 5.1.4.2 ผู้รับจ้างจะต้องดำเนินการทดสอบภายใต้คำแนะนำของนายช่างผู้ควบคุมงานโดยเคร่งครัด ในการปฏิบัติงานนั้น หากพิจารณาความเป็นไปได้จากผลการทดสอบค่าความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตและคาดคะเนได้ว่า การรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างจะต้องลดลงอย่างแน่นอน ผู้รับจ้างดำเนินการเจาะคอนกรีตจากโครงสร้าง ในบริเวณที่สงสัยนั้น ด้วยวิธีการทดสอบตาม AASHTO T 24 : Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete โดยทำการเจาะคอนกรีตจากโครงสร้างออกมาทั้งหมด 3 แท่ง ซึ่งแต่ละแท่งของคอนกรีตที่เจาะออกมาจะต้องไม่น้อยกว่าค่าความต้านแรงอัดต่ำสุดที่กำหนดไว้

ในกรณีที่ค่าความต้านแรงอัดของคอนกรีต ที่ทำการทดสอบโดยการเจาะคอนกรีตจากโครงสร้างแล้ว ผลที่ได้ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดข้างต้น ผู้รับจ้างอาจขอให้ดำเนินการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงบนโครงสร้างนั้น ๆ หากสามารถกระทำได้

สำหรับค่าความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ได้ สามารถเปลี่ยนเป็นค่าความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ได้ตามตารางที่ 5.1-14

ตารางที่ 5.1-14 อัตราส่วนความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกกับรูปลูกบาศก์

ความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (เมกาปาสกาล)	ความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เมกาปาสกาล)
2.0	2.5
4.0	5.0
6.0	7.5
8.0	10.0
10.0	12.5
12.0	15.0
15.0	20.0
20.0	25.0
25.0	30.0
30.0	35.0
35.0	40.0
40.0	45.0
45.0	50.0
50.0	55.0

5.1.5 การชั่งตวงวัสดุ

การชั่งตวงวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ผสมคอนกรีตจะต้องดำเนินการตามวิธีการที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นชอบ โดยชั่งตวงที่โรงงานผสมคอนกรีต (Plant) หรือบริเวณเครื่องผสมคอนกรีต (Mixer) เท่านั้น การผสมคอนกรีตจะใช้โรงงานผสมแบบตั้งอยู่กับที่ (Stationary Type) หรือแบบเคลื่อนที่ได้ (Mobile Type) ก็ได้ ซึ่งโรงงานผสมคอนกรีตนี้ จะต้องติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ให้เหมาะสม เพื่อให้การชั่งตวงเป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำ

5.1.5.1 ยุ้งใส่วัสดุและถังชั่งน้ำหนัก

ยุ้งใส่วัสดุจะต้องมีระบบระบายน้ำออกของมวลรวมที่ดี และต้องมีช่องแบ่งสำหรับเก็บมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดแต่ละขนาดให้เพียงพอ แต่ละช่องแบ่งจะต้องมีอุปกรณ์บังคับให้ปูนซีเมนต์ มวลรวมหยาบแต่ละขนาดและมวลรวมละเอียดไหลลงถังชั่งน้ำหนักได้สะดวก และมีประสิทธิภาพอุปกรณ์ ดังกล่าวจะต้องสามารถควบคุมอัตราการไหลของวัสดุต่าง ๆ ให้ช้าลงเมื่อวัสดุนั้น ๆ ใกล้ถึงปริมาณที่ต้องการ และสามารถปิดลงได้อย่างสนิทเมื่อได้ปริมาณที่ต้องการ

ถังชั่งน้ำหนักต้องจัดให้มีช่องเปิดเผื่อไว้สำหรับให้วัสดุต่างๆที่เกินปริมาณที่ต้องการไหลออกไปได้โดยสะดวก และสามารถปล่อยวัสดุออกจากถังได้หมดเมื่อมีความจำเป็น

5.1.5.2 เครื่องชั่ง

เครื่องชั่งที่ใช้ในการชั่งวัสดุผสมคอนกรีต จะต้องเป็นแบบคานหรือแบบหน้าปัทม์ที่ไม่ใช้สปริง จะต้องชั่งได้ละเอียดโดยอ่านน้ำหนักผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 0.4 ของค่าน้ำหนักสูงสุดของเครื่องชั่ง ผู้รับจ้างจะต้องจัดหาตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 25 กิโลกรัม จำนวนอย่างน้อย 10 ตุ้ม ไว้ที่หน้างาน สำหรับตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องชั่ง ส่วนประกอบของเครื่องชั่งต่าง ๆ จะต้องรักษาให้สะอาดอยู่เสมอ

กรณีที่ใช้เครื่องชั่งแบบคาน จะต้องมีเข็มชี้ให้ทราบเมื่อวัสดุในถังชั่งน้ำหนักมีปริมาณเกือบพอกับความต้องการแล้ว เข็มดังกล่าวจะต้องเริ่มเตือนให้ทราบเมื่อการชั่งวัสดุยังขาดอยู่อีก 100 กิโลกรัมของน้ำหนักที่ต้องการ และเตือนอีกครั้งเมื่อน้ำหนักที่ชั่งสูงเกินพิกัดถึง 25 กิโลกรัม

เครื่องชั่งและเข็มชี้จะต้องติดตั้งในตำแหน่งที่ผู้ควบคุมมองเห็นง่ายและอ่านได้สะดวกขณะเทวัสดุลงในถังชั่งน้ำหนัก และจะต้องมีทางเดินเข้าจุดควบคุมต่าง ๆ ได้โดยสะดวก

การชั่งปูนซีเมนต์อาจใช้การชั่งโดยตรง หรือคิดจากปูนซีเมนต์ถุงมาตรฐานซึ่งมีน้ำหนักถุงละ 50 กิโลกรัม เมื่อต้องการชั่งโดยตรงจะต้องจัดเตรียมเครื่องชั่งและถังชั่งน้ำหนักไว้โดยเฉพาะ และต้องเตรียมระบบการลำเลียงปูนซีเมนต์ที่ดีไว้สำหรับนำปูนซีเมนต์จากถังชั่งน้ำหนักไปยังเครื่องผสมคอนกรีตทั้งนี้ต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน

สำหรับวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีตแต่ละชนิดนั้นยอมให้มีค่าคลาดเคลื่อนได้ตามตารางที่ 5.1-15

ตารางที่ 5.1-15 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต

วัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ผสมคอนกรีต	น้ำหนักของวัดสุแต่ละชนิดที่ใช้ผสมรวมกัน			
	มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักสูงสุดของเครื่องชั่งที่ใช้ชั่งวัสดุแต่ละชนิด		น้อยกว่า 30เปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักสูงสุดของเครื่องชั่งที่ใช้ชั่งวัสดุแต่ละชนิด	
	การชั่งทีละครั้ง	การนำน้ำหนักที่ชั่งแต่ละครั้งมารวมกัน	การชั่งทีละครั้ง	การนำน้ำหนักที่ชั่งแต่ละครั้งมารวมกัน
ปูนซีเมนต์	± 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ หรือ ± 0.3 เปอร์เซ็นต์ ของค่าน้ำหนักที่สามารถชั่งได้สูงสุดของเครื่องชั่งนั้น (ให้ใช้ค่าที่มากกว่า)		ไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้หรือมากกว่าที่กำหนดไว้ไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์	
น้ำ (โดยปริมาตรหรือโดยน้ำหนัก) (เปอร์เซ็นต์)	± 1	ไม่ควรใช้	± 1	ไม่ควรใช้
มวลรวม (เปอร์เซ็นต์)	± 2	± 1	± 2	± 0.3 เปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักสูงสุดของเครื่องชั่งหรือ ± 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักที่ชั่งแต่ละครั้งรวมกัน (ให้ใช้ ค่าที่น้อยกว่า)
สารผสมเพิ่ม (โดยปริมาตรหรือโดยน้ำหนัก) (เปอร์เซ็นต์)	± 3	ไม่ควรใช้	± 3	ไม่ควรใช้

5.1.6 การผสมคอนกรีต (Mixing Concrete)

การผสมคอนกรีตอย่างทั่วถึงมีความสำคัญต่อการผลิตคอนกรีตให้มีคุณภาพเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นเครื่องมือและวิธีการที่ใช้ผสมคอนกรีต นอกจากจะใช้ผสมคอนกรีตทั่วไปได้ดีแล้วจะต้องสามารถใช้กับมวลรวมที่มีขนาดใหญ่สุดได้ และสามารถใช้ผลิตคอนกรีตที่มีค่ายุบตัว (Slump) ต่ำสุดได้ด้วย

ผู้รับจ้างจะต้องจัดหาเครื่องมือให้เพียงพอ และวิธีการผสมคอนกรีตให้เหมาะสมกับงานรวมถึงการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างต่อเนื่องและทันเวลาที่กำหนด

5.1.6.1 เครื่องผสมคอนกรีต (Mixing Equipment)

เครื่องผสมคอนกรีตอาจจะเป็นแบบติดตั้งประจำอยู่ที่โรงงานผลิตคอนกรีต หรือเป็นแบบเคลื่อนย้ายได้ การจัดเรียงใบกวนในเครื่องผสม จะต้องสามารถคลุกเคล้าวัสดุได้ทั่วเครื่องผสมคอนกรีตในขณะที่แกนของเครื่องผสมคอนกรีตหมุนหรือกลิ้งไปมา นอกจากนี้การผสมและปล่อยคอนกรีตออกจากเครื่องผสมจะต้องเป็นไปอย่างสะดวก

ชนิดของเครื่องผสมคอนกรีตสามารถแยกออกได้ 6 ชนิด ดังต่อไปนี้

(1) เครื่องผสมคอนกรีตแบบถังเอียง (Tilting Drum Mixer) เป็นเครื่องผสมที่ถังสามารถเอียงได้ในระหว่างผสมหรือปล่อยคอนกรีตออกจากถัง ในระหว่างการผสมคอนกรีตแกนของถังสามารถนอนหรือเอียงทำมุมกับแนวราบได้

(2) เครื่องผสมคอนกรีตแบบถังนอน (Non-tilting Drum Mixer) เป็นเครื่องผสมที่ถังและแกนของถังอยู่ในแนวนอนตลอดเวลา ดังนั้นในการผสมและปล่อยคอนกรีตออกจากถังจะต้องกระทำในลักษณะที่ถังอยู่ในแกนนอนเสมอ

(3) เครื่องผสมคอนกรีตแบบแกนตั้ง (Vertical Shaft Mixer) หรือเครื่องผสมแบบกังหัน หรือเครื่องผสมแบบหม้อ (Turbine or Pan Type Mixer) เป็นเครื่องผสมที่ทำงานโดยการหมุนของใบกวน ติดตั้งในแนวดิ่งภายในหม้อผสม ซึ่งหม้อนี้จะมี 2 ลักษณะคือ แบบอยู่กับที่และแบบที่หมุนได้ในทิศทางตรงกันข้ามกับใบกวน ระหว่างการผสมสามารถปรับให้การหมุนของใบกวนเร็วหรือช้าได้

เครื่องผสมชนิดนี้เหมาะสำหรับการผสมคอนกรีตที่ค่อนข้างแห้ง ใช้ในห้องปฏิบัติการและใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์คอนกรีต

(4) เครื่องผสมแบบใบพัด (Paddle Mixer) เป็นเครื่องผสมที่ใบกวนวางอยู่ในแนวราบและสามารถหมุนได้อย่างแรง เหมาะกับคอนกรีตที่เหนียว ตามปกติใช้ในงานผลิตคอนกรีตบล๊อก

(5) รถผสมคอนกรีต (Truck Mixer) สามารถแบ่งออกได้อีก 2 แบบ คือ แบบปล่อยคอนกรีตออกด้านท้ายรถ และแบบปล่อยคอนกรีตออกด้านหน้ารถ ตามปรกติแบบปล่อยคอนกรีตออกด้านท้ายรถ และมีแกนเอียงเป็นที่นิยมแพร่หลายกว่า โดยทั้ง 2 แบบจะมีใบผสมติดตั้งอยู่ในถังเพื่อผสมคอนกรีตและสามารถปล่อยคอนกรีตออกจากถังได้เมื่อให้ถังหมุนในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการผสม

(6) เครื่องผสมแบบต่อเนื่อง (Continuous Mixing Equipment) เป็นเครื่องผสมที่มีใบกวนแบบเกลียวซึ่งหมุนด้วยความเร็วสูงติดตั้งอยู่ภายในเครื่องผสม แกนหมุนจะเอียงทำมุมระหว่าง 15 ถึง 25 องศา กับแนวนอน

5.1.6.2 คอนกรีตผสมที่โรงงาน (Central Mixed Concrete) เป็นคอนกรีตที่ผสมโดยเครื่องผสมที่ติดตั้งอยู่ในโรงงาน ต่อจากนั้นจึงนำคอนกรีตที่ผสมแล้วไปใช้งานต่อไป

5.1.6.3 คอนกรีตผสมโดยรถผสมคอนกรีต (Truck Mixed Concrete) เป็นคอนกรีตที่ผสมโดยชั่งตวงวัสดุต่าง ๆ ลงในถังที่ติดตั้งอยู่บนรถ ต่อจากนั้นจึงทำการผสมคอนกรีตและนำไปใช้งานต่อไป

5.1.6.4 การป้อนวัสดุและการผสมคอนกรีต (Charging and Mixing) วิธีและขั้นการป้อนวัสดุต่าง ๆ ลงในเครื่องผสมเป็นสิ่งสำคัญ เพราะมีผลต่อการผสมคอนกรีตมาก

เครื่องผสมที่ติดตั้งในโรงงานจะต้องให้ความสำคัญต่อการลำเลียงวัสดุลงสู่เครื่องผสมอย่างต่อเนื่อง

ในการผสมคอนกรีตโดยรถผสมคอนกรีต การป้อนวัสดุลงในถังจะต้องป้องกันการรวมตัวกันเป็นก้อนของวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรวมตัวกันของทรายและปูนซีเมนต์

สำหรับในส่วนหัวของถังนั้นสามารถป้องกันการรวมตัวกันเป็นก้อนของวัสดุได้ โดยใช้มวลรวมหยาบและน้ำอย่างละ 10 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่ใช้ ใส่ลงไปก่อนที่จะใส่ทรายและปูนซีเมนต์

การใส่น้ำลงไปในเครื่องนั้น จะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ ซึ่งตามปกติแล้วควรใส่น้ำประมาณ 1/4 ถึง 1/3 ของปริมาณน้ำที่ใช้ ลงไปในเครื่องผสมภายหลังจากป้อนวัสดุต่าง ๆ ลงไปหมดก่อนแล้ว การใส่น้ำลงไปในเครื่องผสม จะต้องใช้ท่อส่งน้ำที่เหมาะสมและออกแบบให้มีขนาดเพียงพอ ทั้งนี้เพื่อให้น้ำสามารถผสมกับวัสดุต่าง ๆ ได้ภายในระยะเวลา 1 ใน 4 ของเวลาในการผสมทั้งหมด

กรณีที่ใช้สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต สารกระจายกักฟองอากาศสำหรับคอนกรีตและสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีตไหลทุกชนิด จะต้องใส่ขณะผสมคอนกรีตเท่านั้น สารผสมเพิ่มขณะที่ใช้เป็นของเหลวต้องใส่ลงไปพร้อมกับน้ำหรือมวลรวมละเอียดที่ชื้น ส่วนสารผสมเพิ่มขณะใช้เป็นผงต้องใส่ลงไปพร้อมวัสดุผสมที่มีสภาพแห้ง

กรณีที่ใช้สารผสมเพิ่มมากกว่า 1 ชนิด ต้องแยกใส่ลงไปในเครื่องผสมทีละครั้ง นอกจากระบุให้ใส่พร้อมกันได้ นอกจากนี้สารผสมเพิ่มชนิดเหลวต้องทำให้เจือจางก่อนใส่ลงไปในเครื่องผสม

(1) การผสมคอนกรีตโดยใช้เครื่องผสมชนิดที่ติดตั้งในโรงงาน ในการผสมแต่ละครั้งจะต้องให้มีปริมาณคอนกรีตไม่เกินกว่าที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้

เวลาที่ใช้ผสมคอนกรีตขึ้นกับความสามารถของเครื่องผสมคอนกรีตที่จะผลิตคอนกรีตให้มีคุณภาพสม่ำเสมอต่อการผลิตคอนกรีตครั้งหนึ่ง ๆ ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตและรายละเอียดการใช้งานของเครื่องผสม อย่างไรก็ตามเวลาในการผสมควรขึ้นอยู่กับผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผสม ซึ่งควรจะทำการทดสอบเป็นช่วง ๆ ตลอดอายุการใช้งาน และเวลาที่ใช้ผสมแต่ละครั้งจะต้องไม่น้อยกว่า 1 นาที

เวลาที่ใช้ผสมคอนกรีต จะเริ่มนับเมื่อวัสดุต่าง ๆ ถูกป้อนลงไปในเครื่องผสมเรียบร้อยแล้ว นาฬิกาจับเวลาจะต้องสามารถได้ยินได้ และจะต้องมีตัวบังคับเพื่อป้องกันการใช้เวลาผสมคอนกรีตน้อยหรือมากเกินไป นอกจากนี้ยังต้องสามารถป้องกันการป้อนวัสดุลงไปขณะผสมคอนกรีตด้วยการใช้นาฬิกาจับเวลาควรใช้ทั้งในระบบโรงงานผสมคอนกรีตระบบอัตโนมัติ

และโรงงานผสมคอนกรีตแบบธรรมดา เครื่องผสมจะต้องออกแบบให้ใช้งานได้ดีทั้งขณะเริ่มต้นและหยุดผสมคอนกรีตภายใต้น้ำหนักบรรทุกเต็มพิกัด

(2) การผสมโดยใช้รถผสมคอนกรีต ตามปกติจะผสมในปริมาณไม่เกิน 63 เปอร์เซ็นต์ ของความจุถัง และจะหมุนถัง 70 ถึง 100 รอบ เพื่อกวนวัสดุต่าง ๆ ให้เข้ากันได้ดี แต่อาจจะหมุนถังมากหรือน้อยกว่านี้ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของรถผสมคอนกรีตกับปริมาณคอนกรีตที่ผสม ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม ไม่ควรหมุนถังเกิน 300 รอบ

ถ้าหากต้องเผื่อเวลาไว้สำหรับการเทคอนกรีตภายหลังการผสมเสร็จแล้ว ก็จะต้องลดจำนวนของการหมุนของถังลง หรือหยุดการหมุนในระยะหนึ่ง และเมื่อจะเทคอนกรีตออกจากถังจึงทำการหมุนถังอีก ประมาณ 30 รอบก่อน เพื่อให้คอนกรีตที่ผสมไว้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น

ในกรณีที่ต้องใช้เวลาในการขนส่งคอนกรีต จะต้องผสมคอนกรีตในลักษณะผสมแห้งซึ่งจะต้องเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการใส่น้ำลงไปในวัสดุต่าง ๆ โดยจะใส่น้ำเมื่อขนส่งคอนกรีตที่ผสมแห้งไปถึงหน้างานแล้ว วัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องอยู่ในสภาพผิวแห้งเพื่อป้องกันการทำปฏิกริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์

วิธีการผสมแห้งนี้ จะเริ่มจากการป้อนวัสดุลงไปในรถผสมคอนกรีต และขนส่งไปยังหน้างาน ต่อจากนั้นจึงฉีดน้ำด้วยความดันลงไปในส่วนหน้าและส่วนหลังของถังที่ใช้ผสมคอนกรีต พร้อมกันนั้นก็ทำการหมุนถังไปจนกระทั่งครบ 70 ถึง 100 รอบ

(3) น้ำ ปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อให้ได้ค่าความยุบตัวที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับระยะทางการขนส่งคอนกรีตไปยังหน้างาน ระยะเวลาการเทคอนกรีต และอุณหภูมิโดยรอบขณะทำงาน ในกรณีที่สภาพอากาศเย็น ระยะทางการขนส่งคอนกรีตไปยังหน้างานไม่ไกลและไม่มีการเสียเวลารอคอยก็จะไม่มีปัญหาต่องานคอนกรีต แต่ถ้าระยะการขนส่งไกล สภาพอากาศร้อนก็จะทำให้มีการสูญเสียความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสด ซึ่งจำเป็นต้องแก้ไขโดยใช้วิธีการควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีต ใช้สารหน่วงการก่อตัว รวมทั้งการวางแผนการทำงานที่ดีด้วย

ในกรณีที่ได้แก้ไขโดยวิธีการดังกล่าวข้างต้นแล้วไม่ได้ผลจะต้องใช้วิธีผสมแห้งเท่านั้น

5.1.7 อุณหภูมิของคอนกรีตสด

การผสมคอนกรีตในเครื่องผสมนั้น อุณหภูมิของคอนกรีตสดจะมีผลต่อค่าความยุบตัว ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม และปริมาณฟองอากาศ ดังนั้นในการผสมคอนกรีตต้องให้อุณหภูมิของคอนกรีตสดอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อที่จะได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอตลอดการทำงาน

อุณหภูมิของคอนกรีตก่อนเทลงแบบจะต้องอยู่ระหว่าง 10 ถึง 33 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของคอนกรีตที่เทลงแบบแล้วและอยู่ระหว่างที่คอนกรีตก่อตัวจะต้องสูงไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส สำหรับโครงสร้างขนาดใหญ่ที่ต้องใช้ปริมาณคอนกรีตในการเทมากอุณหภูมิของคอนกรีตขณะทำปฏิกริยาก่อตัวอาจสูงเกินค่ากำหนดดังกล่าวได้ ในกรณีนี้ผู้รับจ้างจะต้องเตรียมวิธีการที่เหมาะสมเพื่อลดอุณหภูมิของคอนกรีตสดเสนอต่อนายช่างผู้ควบคุมงานเพื่อดำเนินการพิจารณาก่อนที่จะเริ่มดำเนินการ

สำหรับอุณหภูมิของคอนกรีตสดสามารถประมาณได้จากสูตรดังนี้

ก. เมื่อไม่ใช้น้ำแข็ง $$T = \frac{0.22\,(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_a W_{wa}}{0.22\,(W_a + W_c) + W_w + W_{wa}}$$

ข. เมื่อใช้น้ำแข็ง $$T = \frac{0.22\,(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_a W_{wa} - 79.6\, W_i}{0.22\,(W_a + W_c) + W_w + W_i + W_{wa}}$$

โดยที่

T_a = อุณหภูมิของมวลรวม (องศาเซลเซียส)

T_c = อุณหภูมิของซีเมนต์ (องศาเซลเซียส)

T_w = อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต (องศาเซลเซียส)

W_a = น้ำหนักของมวลรวมสภาพแห้ง (กิโลกรัม)

W_c = น้ำหนักของซีเมนต์ (กิโลกรัม)

W_w = น้ำหนักของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต (กิโลกรัม)

W_{wa} = น้ำหนักของน้ำอิสระบนผิวมวลรวมและน้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซึมในมวลรวม

(กิโลกรัม) (ซึ่งสมมุติให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของมวลรวม)

W_i = น้ำหนักของน้ำแข็ง (กิโลกรัม)

5.1.8 การขนส่งคอนกรีต (Transporting Concrete)

การขนส่งคอนกรีตจะกระทำโดยใช้รถผสมคอนกรีต รถบรรทุก เรือ ราง ท่อสาย พานลำเลียง หรือวิธีอื่นใดก็ได้

วิธีการขนส่งคอนกรีตที่จะต้องถึงจุดหมายปลายทางอย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตสด ซึ่งได้แก่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ ค่าความยุบตัว ปริมาณฟองอากาศ และความเป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีต ซึ่งในแต่ละวิธีการขนส่งจะมีข้อดีข้อเสียในเงื่อนไขต่าง ๆ กัน ได้แก่ วัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต อัตราส่วนผสมของคอนกรีต วิธีการในการลำเลียงคอนกรีตสดเข้าไปในสถานที่ก่อสร้าง ปริมาณคอนกรีตที่ต้องการเท สถานที่ตั้งของโรงงานผสมคอนกรีต สภาวะอากศ และอื่นๆ ซึ่งเงื่อนไขต่าง ๆ ดังกล่าวนี้จะต้องศึกษาให้รอบคอบก่อนที่จะเลือกวิธีการขนส่งคอนกรีต เพื่อให้งานคอนกรีตที่ได้มีคุณภาพดีและประหยัด

5.1.8.1 การขนส่งโดยใช้รถผสมคอนกรีต รถชนิดนี้จะมีใบกวนอยู่ในถังบรรจุคอนกรีต ในขณะขนส่งคอนกรีต ถังจะหมุนด้วยอัตราเร็วเท่ากับขณะผสมคอนกรีต และในกรณีที่ใช้รถผสมคอนกรีตขนส่งคอนกรีตสดนี้ อนุญาตให้ใส่คอนกรีตลดลงไปได้ 80 เปอร์เซ็นต์ของความจุถัง การขนส่งคอนกรีตจะต้องทำให้เสร็จเรียบร้อยภายในเวลา 45 นาที ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว

5.1.8.2 การขนส่งโดยใช้รถบรรทุกชนิดเปิดฝาข้างบนแบบมีใบกวน ซึ่งจะเป็นชนิดที่เปิดด้านบนได้ และสามารถปล่อยคอนกรีตออกด้านท้ายรถได้โดยการเอียงถัง และมีประตูควบคุมการไหลของคอนกรีต

การใช้ฝาปิดด้านบนในขณะที่สภาพภูมิอากาศไม่ดี การใช้ถังบรรจุที่สะอาด และการขนส่งบนถนนที่ราบเรียบ จะทำให้คุณภาพและการทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การขนส่งคอนกรีตต้องกระทำให้เสร็จเรียบร้อยภายใน 45 นาที ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว ทั้งนี้ควรพิจารณาถึงสภาวะอุณหภูมิของอากาศประกอบด้วย

5.1.8.3 การขนส่งโดยใช้ถังบรรจุคอนกรีตใส่ไปในรถบรรทุก หรือวิ่งไปตามรางรถไฟ เป็นวิธีการที่ใช้กันโดยทั่วไปเพื่อขนส่งคอนกรีตจากโรงงานผสมคอนกรีตไปยังสถานที่จะทำการเทคอนกรีต ซึ่งอยู่ใกล้กับโรงงานผสมคอนกรีต การบรรจุคอนกรีตสดที่โรงงานผสมคอนกรีตจะต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง เพื่อป้องกันการแยกตัวของคอนกรีต การขนส่งคอนกรีตต้องกระทำให้เสร็จเรียบร้อยภายใน 45 นาที ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว

5.1.8.4 การขนส่งทางท่อ (คอนกรีตปั๊ม) ให้พิจารณาตามข้อ 5.1.10

5.1.9 **การเทคอนกรีต (Placing Concrete)** หมายถึง การนำคอนกรีตสดที่ได้จากการขนส่ง มาใส่ในแบบเพื่อให้ได้รูปทรงตามต้องการ

การเทคอนกรีตจะต้องใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ช่วยในการทำงาน ได้แก่ บุ้งกี๋ (Bucket), ภาชนะ ป้อนคอนกรีต (Hopper), รถเข็นด้วยคน (Manual Buggy), รถขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ (Motor Propelled Buggy), ราง (Chute), ท่อ (Drop Pipe), สายพานลำเลียง (Conveyor Belt), เครื่องสูบ (Pump), ปล่อง (Tremie) และเครื่องปูและแต่งผิว (Paving Equipment)

5.1.9.1 การวางแผนเทคอนกรีต ต้องคำนึงถึงคุณภาพและความสม่ำเสมอของคอนกรีตสด ซึ่งคุณสมบัติที่ควรพิจารณา ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ ค่าความยุบตัว ปริมาณฟองอากาศ และความเป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีตสด ในการเลือกวิธีการเทคอนกรีตด้วยเครื่องมือต่าง ๆ จะต้องพิจารณาถึงวิธีการทำให้คอนกรีตแน่นด้วย

การวางแผนไว้ล่วงหน้าจะทำให้การผลิตและเทคอนกรีตสดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเททุกชนิดจะต้องสะอาดและอยู่ในสภาพที่ดี การเทคอนกรีตจะต้องมีวิธีการป้องกันการแยกตัว (Segregation) ได้เป็นอย่างดี การจัดเตรียมอุปกรณ์ที่หน้างานจะต้องให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและมีจำนวนเพียงพอเพื่อป้องกันความล่าช้า

ต้องเตรียมคนงานไว้ที่หน้างานให้เพียงพอ สำหรับการเทคอนกรีต การทำให้คอนกรีตแน่น และการตบแต่งผิวหน้าของคอนกรีตด้วย

กรณีเทคอนกรีตในที่แสงสว่างไม่เพียงพอ จะต้องจัดเตรียมระบบแสงสว่างให้มองเห็นได้ชัดเจน

ผู้รับจ้างต้องเตรียมเอกสารสำหรับขออนุมัติเทคอนกรีต เพื่อนำเสนอต่อนายช่างผู้ควบคุมงาน ซึ่งนายช่างผู้ควบคุมงานจะต้องดำเนินการตรวจสอบให้เป็นไปตามรูปแบบและข้อกำหนดก่อน

5.1.9.2 เหล็กเสริมและสิ่งที่ต้องยึดกับโครงสร้าง (Reinforcement and Embedded Items) ก่อนเทคอนกรีตควรตรวจสอบดูให้เรียบร้อยว่า เหล็กเสริมและสิ่งที่ต้องยึดกับโครงสร้างนั้น ต้องสะอาด ปราศจากน้ำมัน สารเคลือบต่าง ๆ และสิ่งไม่พึงประสงค์ในงานโครงสร้างที่จะเกิดผลกระทบต่อความยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต

เหล็กเสริมที่ใช้ต้องมีขนาด ตำแหน่งและระยะการเหลื่อมทับกัน และระยะหุ้มของคอนกรีต ที่ถูกต้อง ตรงตามแบบและข้อกำหนดทุกประการ

เหล็กเสริมและสิ่งที่ต้องยึดกับโครงสร้าง ต้องวางและยึดติดอย่างแข็งแรงในตำแหน่งที่ถูกต้อง เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวในระหว่างการเทคอนกรีต โดยใช้ลูกปูน (Concrete Block) หนุน หรือใช้ขาหยั่ง (Bar Chair) ช่วยในการทำงาน ตามจำนวนที่เหมาะสม

การวางแผ่นยางกันซึมลงไปในแบบหล่อคอนกรีตนั้น ผู้รับจ้างต้องหาวิธีการยึดจับที่ไม่ทำให้แผ่นยางกันซึมเกิดการโค้งงอ อันจะทำให้คอนกรีตเป็นโพรงได้

ผู้รับจ้างต้องคอยดูแลเหล็กเสริมให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องในขณะเทคอนกรีต นอกจากนี้โครงสร้างบางชนิดนั้นนายช่างผู้ควบคุมงานต้องตรวจสอบเหล็กเสริมและสิ่งที่ต้องยึดกับโครงสร้างเป็นพิเศษด้วย

5.1.9.3 ข้อปฏิบัติในการเทคอนกรีต

(1) อุปกรณ์ที่ใช้ในงานเทคอนกรีตต้องทำให้คอนกรีตสามารถไหลลงตามแนวดิ่งไปสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้โดยสะดวก การไหลของคอนกรีตจะต้องไม่ถูกทำให้เกิดการแยกตัวของคอนกรีต (Segregation)

ในกรณีที่จะเทคอนกรีตใหม่ทับบนคอนกรีตเดิม หากคอนกรีตเดิมพ้นระยะการก่อตัวของคอนกรีตเริ่มแรก (Initial Setting) ซึ่งตามปรกติประมาณ 45 นาทีภายหลังการผสมคอนกรีตแล้วเสร็จ ให้ผู้รับจ้างดำเนินการแต่งผิวหน้าให้เป็นรอยหยาบ เพื่อให้คอนกรีตเดิมกับคอนกรีตใหม่ยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน ถ้าจะเทคอนกรีตใหม่ทับบนคอนกรีตเดิมที่ทิ้งไว้เกิน 6 ชั่วโมง ต้องใช้น้ำยาช่วยการยึดเกาะ (Bonding Agent) ทาผิวหน้าคอนกรีตเดิมก่อน

(2) อุปกรณ์ (Equipment) การเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการเทคอนกรีตจะเกี่ยวข้องกับวิธีการเทคอนกรีต ถ้าหากเป็นการเทคอนกรีตเป็นครั้ง ๆ ไป หรือเป็นชุดของโครงสร้างหนึ่ง ๆ ก็จะเลือกอุปกรณ์ประเภทบุ้งกี๋ (Bucket), ภาชนะป้อนคอนกรีต (Hopper), รถเข็น (Buggy) และอื่น ๆ แต่ถ้าเป็นการเทคอนกรีตที่ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ๆ ก็ควรเลือกใช้อุปกรณ์ประเภทสายพานลำเลียง (Conveyor Belt) และเครื่องสูบ (Pump)

(2.1) บุ้งกี๋ (Bucket) หรือภาชนะป้อนคอนกรีต (Hopper) ต้องเป็นชนิดเปิดฝาด้านล่าง โดยช่องเปิดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดใหญ่สุดของมวลรวมไม่น้อยกว่า 5 เท่า และแนวเอียงลาด ของช่องเปิดต้องทำมุมไม่น้อยกว่า 60 องศากับแนวราบ ช่องเปิดต้องสามารถควบคุมอัตราการไหลของคอนกรีตได้อย่างดี

อุปกรณ์ชนิดนี้เหมาะสำหรับการเทคอนกรีตโดยทั่วไปและยังใช้กับคอนกรีตที่มีค่าความยุบตัวต่ำสุดได้ด้วย

การปล่อยคอนกรีตให้ไหลออกใกล้ผิวหน้าคอนกรีตเดิมที่เทเสร็จใหม่ ๆ หรือการปล่อยคอนกรีตให้ไหลขณะบุ้งกี๋เคลื่อนที่ จะเป็นสาเหตุให้เกิดการแยกตัวของคอนกรีตได้ ห้ามเก็บคอนกรีตที่ตกหล่นจากบุ้งกี๋แล้วมาใช้อีก ไม่ควรนำบุ้งกี๋วิ่งผ่านเหนือผิวหน้าคอนกรีตสดที่แต่งแล้วเพราะอาจทำให้ผิวหน้าดังกล่าวเสียหายได้ ถ้าหากมีการเร่งเทคอนกรีต ผู้รับจ้างควรเตรียมบุ้งกี๋จำนวน 2 ชุดหรือ มากกว่าต่อปั้นจั่นที่ใช้ยก 1 ตัว

(2.2) การใช้รถเข็นด้วยคน (Manual Buggy) หรือรถขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์(Motor Propelled Buggy) การใช้รถเข็นด้วยคนเหมาะกับระยะทางที่ใช้ขนส่งไม่เกิน 60 เมตร ซึ่งบรรทุก คอนกรีตจำนวน 0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง และอัตราการเทอยู่ระหว่าง 2 ถึง 4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับระยะทางที่ลำเลียง) ส่วนการใช้รถขับเคลื่อนด้วย

เครื่องยนต์เหมาะกับระยะทางไม่เกิน 300 เมตร ซึ่งบรรทุกคอนกรีตจำนวน 0.3 ลูกบาศก์เมตร ต่อครั้ง และอัตราการเทอยู่ระหว่าง 11 ถึง 15 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับระยะทางที่ลำเลียง)

(2.3) การใช้ราง (Chute) รางที่ใช้ควรทำจากโลหะ มีรูปร่างเป็นครึ่งวงกลม สามารถป้องกันคอนกรีตล้นออกนอกรางได้ ความลาดเอียงที่ใช้ต้องมากเพียงพอที่จะให้คอนกรีต ซึ่งมีค่าความยุบตัวตามที่กำหนดไหลได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการแยกตัวของคอนกรีตเกิดขึ้น

การใช้อุปกรณ์ชนิดนี้เหมาะสำหรับการลำเลียงคอนกรีตจากข้างบนลงสู่ข้างล่างตามความลาดเอียง

ข้อควรระวังในการทำงานคือ เมื่อคอนกรีตถูกลำเลียงลงสู่ข้างล่างตามความลาดเอียงของรางแล้ว จะต้องทำการเทโดยไม่ให้คอนกรีตเกิดการแยกตัวเช่นกัน

(2.4) การใช้ท่อ (Drop Pipe) ท่อที่ใช้อาจทำจากยาง พลาสติก หรือปล่องโลหะก็ได้ ท่อจะมีความยาวประมาณ 2 ถึง 3 เมตร และต้องสามารถถอดให้สั้นลงได้เพื่อเทคอนกรีตได้สะดวกขึ้น ส่วนบนของท่อควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดใหญ่สุดของมวลรวมไม่น้อยกว่า 8 เท่า ส่วนช่องถัดมาอาจลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลงมา โดยให้มีขนาดใหญ่กว่าขนาดใหญ่สุดของมวลรวมประมาณ 6 เท่าได้

อุปกรณ์ชนิดนี้เหมาะสำหรับการเทคอนกรีตจากข้างบนลงสู่ข้างล่างตามแนวดิ่งตรง ท่อที่ใช้จะต้องวางให้ดิ่งตรง แข็งแรง ทั้งนี้เพื่อให้การลำเลียงคอนกรีตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ท่อที่ทำจากยางหรือพลาสติก ต้องระวังไม่ให้บิดงอหรือเป็นคอคอด ซึ่งจะทำให้คอนกรีตไหลไม่สะดวก

(2.5) การใช้แบบเลื่อน (Slipforming) เป็นการใช้แบบหล่อที่เตรียมไว้ ซึ่งเมื่อเทคอนกรีต ไปแล้วสักระยะหนึ่ง จะสามารถเลื่อนแบบผ่านคอนกรีตที่เทแล้วได้ โดยคอนกรีตนั้น ๆ จะต้องมีความอยู่ตัวในด้านรูปร่าง และคงรูปตามที่ออกแบบไว้ได้

ข้อควรระวังในการใช้แบบเลื่อนเทคอนกรีตก็คือ การเลือกใช้ส่วนผสมของคอนกรีตและต้องพิจารณาถึงอุณหภูมิของอากาศโดยรอบระหว่างเทคอนกรีตด้วย

5.1.9.4 การเทคอนกรีตหลา (Mass Concreting)

เครื่องมือและวิธีการที่ใช้ในการเทคอนกรีตหลาจะต้องสามารถป้องกันการแยกตัวระหว่างมวลรวมหยาบกับมอร์ตาร์ในคอนกรีตได้ ผู้รับจ้างจะต้องทำการเกลี่ยให้มวลรวมหยาบกระจายโดยทั่วก่อนที่จะทำการเทคอนกรีต ทั้งนี้เพราะถ้าหากมวลรวมหยาบรวมตัวกันเป็นกลุ่มหรือเป็นก้อนแล้วจะไม่สามารถแก้ไขได้ในขณะที่เทคอนกรีต ถึงแม้ว่าจะใช้การสั่นสะเทือนช่วยก็ตาม เนื่องจากมวลรวมหยาบในคอนกรีตหลามีขนาดใหญ่

คอนกรีตหลาที่ใช้เทลงไปจะต้องหนาชั้นละไม่เกิน 600 มิลลิเมตร ไม่ควรเทในลักษณะเป็นชั้นที่ลาดเอียง และไม่ควรมีรอยต่อ (Cold Joint) โดยไม่จำเป็น ในงานคอนกรีตหลาปริมาณมาก ๆ ต้องแบ่งการเทออกเป็นชั้น ๆ แต่ชั้นของคอนกรีตจะต้องเทให้ต่อเนื่องกัน โดยชั้นที่เทไปก่อนจะต้องถูกทำให้สั่นสะเทือนขณะที่ทำการเทชั้นถัดขึ้นไปอยู่ นอกจากนี้แต่ละชั้นต้องไม่หนามากเกินไปทั้งนี้เพื่อให้คอนกรีตหลาในแต่ละชั้นสามารถประสานเป็นเนื้อเดียวกันได้

ขั้นตอนการเทคอนกรีตหลาในพื้นที่ที่เป็นบริเวณกว้างนั้น จะต้องกำหนดพื้นที่เป็นส่วน ๆ (Block) ก่อน และการเทคอนกรีตแต่ละชั้นต้องหนาประมาณ 300 ถึง 450 มิลลิเมตร โดยเริ่มเทจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งให้ทั่วพื้นที่ที่กำหนดเป็นส่วน ๆ ไว้ ต่อจากนั้นจึงค่อยเทชั้นถัดไป จนได้ความหนาตามต้องการ

5.1.9.5 คอนกรีตปั๊ม (Pumping Concrete) หมายถึง คอนกรีตที่ถูกลำเลียงด้วยความดันผ่านท่อหรือสายสูบไปยังบริเวณที่จะทำการเทคอนกรีต คอนกรีตปั๊มสามารถใช้ในงานโครงสร้างทั่วไปได้ แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง จึงควรใช้ในโครงสร้างที่มีข้อจำกัดเรื่องการเข้าออก

เครื่องสูบของงานคอนกรีตปั๊มจะติดตั้งไว้บนรถบรรทุก เครื่องสูบขนาดเล็กจะมีความดัน 1.7 ถึง 2.1 เมกาปาสกาล และสามารถลำเลียงปริมาณคอนกรีตได้ในอัตรา 11 ถึง 23 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ถ้าเป็นเครื่องสูบขนาดใหญ่จะมีความดันมากกว่า 7 เมกาปาสกาล และสามารถลำเลียงปริมาณคอนกรีตได้ถึง 115 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามปรกติรถบรรทุกที่ใช้งานคอนกรีตปั๊มจะต้องติดแขนยื่น (Boom) ไว้ด้วย เพื่อให้การเทคอนกรีตเป็นไปอย่างสะดวก

คอนกรีตปั๊มจะต้องใช้อัตราส่วนผสมของคอนกรีตให้เหมาะสมกับเครื่องสูบและท่อหรือสายสูบ นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการใช้คอนกรีตปั๊มยังขึ้นอยู่กับความยาวของท่อหรือสายสูบด้วย

เครื่องสูบที่ใช้งานจะเป็นระบบลูกสูบ (Piston Pump) ระบบอัดอากาศ (Pneumatic Pump) หรือระบบอัดแน่น (Squeeze Pressure Pump) ก็ได้

ท่อหรือสายสูบที่ใช้งาน ถ้าทำด้วยโลหะจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 75 ถึง 200 มิลลิเมตร แต่ที่นิยมใช้คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 ถึง 125 มิลลิเมตร ส่วนท่อที่ทำด้วยยางจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 75 ถึง 125 มิลลิเมตร ปรกติสามารถใช้ท่อโลหะและท่อยางสลับกันได้ แต่ถ้าเป็นการลำเลียงที่ระยะทางมาก ๆ จะนิยมใช้ท่อโลหะเพียงอย่างเดียว

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบไม่ควรเกิน 33 เปอร์เซ็นต์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อหรือสายสูบที่ใช้งาน ขนาดของทรายที่ใช้ควรจะผ่านตะแกรงเบอร์ 50 ประมาณ 15 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ และผ่านตะแกรงเบอร์ 100 ประมาณ 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าโมดูลัสความละเอียดอยู่ระหว่าง 2.40 ถึง 3.00

5.1.10 การทำให้คอนกรีตแน่น

การสั่นสะเทือนแบบภายใน (Internal Vibrator) เป็นวิธีการที่ทำให้คอนกรีตที่มีสภาพพลาสติก (Plastic Concrete) แน่นอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้โดยขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวของเครื่องสั่นสะเทือน ความถี่ (Frequency) และช่วงกว้างของการสั่นสะเทือน (Amplitude)

ห้ามใช้เครื่องสั่นสะเทือนเพื่อทำให้คอนกรีตเคลื่อนตัวในแนวราบ ควรใช้เครื่องสั่นสะเทือนจี้ลงไปและถอนขึ้นมาจากคอนกรีตสดตามแนวดิ่ง ในกรณีที่เทคอนกรีตเป็นจำนวนมาก ควรใช้เครื่องสั่นสะเทือนแบบเป็นชุด

ในจุดที่การใช้เครื่องสั่นสะเทือนจี้คอนกรีตกระทำได้ไม่สะดวกให้ใช้เครื่องสั่นสะเทือนที่แบบหล่อ (Form Vibrator)

ในการใช้เครื่องสั่นสะเทือนต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือนมากเกินไป ซึ่งจะทำให้คอนกรีตเสียหายได้ หากจำเป็นต้องใช้เครื่องสั่นสะเทือนจี้ซ้ำต้องกระทำก่อนที่คอนกรีตจะเริ่มก่อตัว (Initial Set)

เพื่อให้การเทคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ต้องมีเครื่องสั่นสะเทือนสำรองไว้ที่หน้างาน และต้องมีการบำรุงรักษาอย่างดีด้วย

5.1.11 การบ่มคอนกรีต หมายถึง การคงสภาพความชื้นและอุณหภูมิให้แก่คอนกรีตในช่วงระยะแรกภายหลังการเทคอนกรีตแล้วเสร็จเพื่อเป็นการพัฒนาคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตให้เป็นไปตามที่ต้องการ เพราะถ้าเกิดการระเหยของน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดรอยร้าวในคอนกรีตสภาพพลาสติก (Plastic Shrinkage Crack) และการสูญเสียค่าของกำลังบริเวณผิวหน้าคอนกรีตได้

5.1.11.1 วิธีการบ่มคอนกรีต แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

(1) การบ่มด้วยน้ำ หมายถึง การให้ความชื้นอย่างต่อเนื่องแก่ผิวหน้าคอนกรีตที่เทไปแล้ว

การบ่มด้วยน้ำเป็นวิธีที่ประหยัด น้ำที่ใช้ต้องสะอาดและมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต การบ่มด้วยน้ำนี้สามารถกระทำได้ในหลายลักษณะ เช่น การฉีดน้ำ (Fog Spraying or Sprinkling) การขังน้ำ (Ponding or Immersion) และการคลุมด้วยกระสอบที่ชุ่มน้ำ ซึ่งการคลุมด้วยกระสอบที่ชุ่มน้ำนี้ช่วงที่ต่อกันต้องให้เหลื่อมกันประมาณครึ่งของความกว้างของกระสอบที่ใช้คลุม

(2) การบ่มโดยการป้องกันความชื้นในคอนกรีตไม่ให้ระเหยออกไป เป็นการแก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการที่ความชื้นระเหยออกไปจากผิวหน้าเมื่อมีความผิดพลาดจากการบ่มด้วยน้ำ การบ่มด้วยวิธีนี้สามารถกระทำได้หลายรูปแบบ เช่น การใช้แผ่นพลาสติก (Plastic Film) ขนาดความหนา 0.1 มิลลิเมตร การใช้กระดาษพิเศษ (Reinforced Paper) การใช้สารเหลวบ่มคอนกรีต (Liquid Membrane-Forming Curing Compound) เป็นต้น สำหรับการใช้สารเหลวบ่มคอนกรีตนั้น ไม่ควรใช้กับผิวหน้าคอนกรีตที่มีการเททับหน้าอีก หรือหากจำเป็นต้องใช้ *ก็จะต้องทำความสะอาดสารเหลวบ่มคอนกรีตให้หมดไปก่อนที่จะเทคอนกรีตชั้นถัดไป* และหาก

ผู้รับจ้างประสงค์จะใช้การบ่มโดยวิธีนี้ ต้องขออนุญาตจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นลายลักษณ์อักษรก่อน

5.1.11.2 การบ่มคอนกรีตในงานผิวทางหรืองานพื้นคอนกรีตที่วางบนดินซึ่งได้แก่ ผิวทางคอนกรีต, คาดคลองคอนกรีต, ลานจอดรถ, ทางเท้า และพื้นคอนกรีตนอกอาคาร ซึ่งผิวหน้าของโครงสร้างเหล่านี้อยู่ในลักษณะที่สัมผัสกับสภาวะแวดล้อมมาก โอกาสที่จะสูญเสียความชื้นจึงมีสูง ซึ่งสามารถทำให้เกิดรอยร้าวของผิวคอนกรีตได้ ดังนั้นจึงต้องทำให้พื้นใต้โครงสร้างเหล่านี้เปียกชื้นก่อนเทคอนกรีตและต้องทำการบ่มคอนกรีตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องภายหลังเทคอนกรีตแล้วเสร็จ

ในกรณีที่เริ่มเกิดรอยร้าวในคอนกรีตขณะเริ่มแข็งตัว ก็จะต้องทำการฉีดสารเหลวบ่มคอนกรีตลงไป และทำการปกคลุมด้วยกระสอบที่ชุ่มน้ำทันที

ผู้รับจ้างจะต้องทำการบ่มคอนกรีตในงานผิวทาง หรืองานพื้นคอนกรีตที่วางบนดินตลอดระยะเวลา 7 วัน หรือจนกว่าค่าความต้านแรงอัดจะขึ้นสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของค่าความต้านแรงอัดต่ำสุดที่กำหนดไว้

5.1.11.3 การบ่มคอนกรีตในงานโครงสร้าง ซึ่งได้แก่ ผนัง, เสา, พื้นในอาคาร, คาน, ตอม่อ, พื้นสะพาน, กำแพงปากท่อ และอื่น ๆ ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้จะต้องทำการบ่มคอนกรีตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องภายหลังเทคอนกรีตแล้วเสร็จ การบ่มอาจใช้การฉีดน้ำหรือการคลุมด้วยกระสอบที่ชุ่มน้ำก็ได้ แต่ถ้าหากผู้รับจ้างมีความจำเป็นต้องใช้สารเหลวบ่มคอนกรีตก็จะต้องทำหนังสือขออนุมัติจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นลายลักษณ์อักษรก่อน และในกรณีที่ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.4 ห้ามใช้สารเหลวบ่มคอนกรีตโดยเด็ดขาด

ผู้รับจ้างจะต้องทำการบ่มคอนกรีตที่โครงสร้างดังกล่าว ตลอดระยะเวลา 7 วัน หรือจนกว่าค่าความต้านแรงอัดจะขึ้นสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของค่าความต้านแรงอัดต่ำสุดที่กำหนดไว้

5.1.11.4 การบ่มคอนกรีตในงานคอนกรีตหลา ใช้สำหรับงานซึ่งเป็นการเทคอนกรีตจำนวนมากซึ่งมีความร้อนขึ้นสูงมาก การควบคุมอุณหภูมิจึงมีความสำคัญ ดังนั้นผู้รับจ้างต้อง

ทำการบ่มคอนกรีตต่อเนื่องกันเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 14 วัน หรืออาจขออนุมัติใช้สารเหลวบ่มคอนกรีตก็ได้

5.1.11.5 การบ่มคอนกรีตในโครงสร้างหล่อสำเร็จรูป ซึ่งเป็นโครงสร้างที่หล่อและบ่มในโรงงานก่อนนำไปใช้งาน ได้แก่ ท่อกลม, ผนัง, คาน และพื้นสำเร็จรูป เป็นต้น ผู้รับจ้างต้องทำการบ่มคอนกรีต ดังกล่าวตลอดระยะเวลา 7 วัน หรือจนกว่าค่าความต้านแรงอัดจะสูงขึ้นถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของค่าความต้านแรงอัดต่ำสุดที่กำหนดไว้

5.1.12 งานเหล็กเสริมธรรมดา

หมายถึง การจัดหาเหล็กเสริมและประกอบติดตั้งให้ถูกต้องตามประเภท ชนิด ขนาดและตำแหน่ง ดังที่แสดงไว้ในแบบและรายละเอียดตามข้อกำหนด

5.1.12.1 เหล็กเส้นสำหรับงานคอนกรีต ประเภทเหล็กเส้นกลม (ROUND BAR) จะต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กเส้นกลม มาตรฐาน เลขที่ มอก. 20

5.1.12.2 เหล็กเส้นสำหรับงานคอนกรีต ประเภทเหล็กเส้นข้ออ้อย (DEFORMED BAR) จะต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย มาตรฐานเลขที่ มอก. 24

5.1.12.3 ลวดผูกเหล็ก (Binding Wire) จะต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ลวดผูกเหล็ก มาตรฐานเลขที่ มอก.138 ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 มิลลิเมตร

5.1.12.4 การจัดหาวัสดุ หมายถึง การที่ผู้รับจ้างจัดหาเหล็กเสริม และขนส่งนำมาเก็บรักษาไว้ ณ สถานที่ก่อสร้าง เพื่อใช้ในงานก่อสร้างนี้ ผู้รับจ้างต้องส่งสำเนาหลักฐานแหล่งผลิตและเอกสารข้อมูลจำเพาะของเหล็กเสริมที่จัดหามานั้นต่อนายช่างผู้ควบคุมงานทุกครั้ง

การขนส่งเหล็กเสริมจะต้องจัดทำเป็นมัดและติดป้าย ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

5.1.12.5 การเก็บตัวอย่างและการทดสอบ

เหล็กเสริม ต้องปราศจากรอยแตกร้าว สนิมเกล็ดหรือสนิมขุม น้ำมัน และต้องมีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้ในแบบหรือในข้อกำหนดการก่อสร้าง ต้องผ่านการทดสอบจากกรมทางหลวง และการส่งทดสอบ ให้ปฏิบัติดังนี้คือ

(1) ตัวอย่างเหล็กที่ใช้ในการก่อสร้างต้องส่งไปตรวจสอบคุณสมบัติก่อนที่จะเริ่มงานเหล็ก

(2) ตัวอย่างเหล็กต้องยาวอย่างน้อยท่อนละ 1.00 เมตร และต้องตัดจากเหล็กเสริมที่นำมาเก็บรักษาไว้ที่สถานที่ก่อสร้าง

(3) จำนวนตัวอย่างเหล็กที่ต้องส่งทดสอบให้คิดตามสูตรดังนี้

$$S = K\sqrt[3]{N^2} \geq 2$$

โดยที่ S หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่ต้องส่งทดสอบ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง

K หมายถึง เลขคงที่ (Empirical Constant) = 0.04

และ N หมายถึง จำนวนเหล็กในขนาดเดียวกันทั้งมัด คิดเป็นเส้นซึ่งมีความยาวเท่ากัน

การคำนวณตามสูตรข้างต้นนี้ ถ้ามีเศษเกิน 0.5 ให้คิดเพิ่มอีก 1 ตัวอย่างเสมอไป

5.1.12.6 การเก็บรักษาวัสดุ เหล็กเสริมสำหรับโครงสร้างจะต้องขนส่งและเก็บในลักษณะที่ไม่ทำให้เหล็กบิดงอจากรูปร่างที่ต้องการ และป้องกันมิให้ฝุ่นผง น้ำมัน หรือสีเปรอะเปื้อนโดยไม่จำเป็นเมื่อใส่เข้าแบบแล้วเหล็กเสริมจะต้องปราศจากฝุ่นผง น้ำมัน จารบี สี สะเก็ดเหล็ก และสนิมขุม

5.1.12.7 การตัดและการดัด เหล็กเสริมจะต้องตัดและดัดให้ได้ขนาดและรูปร่างตามที่แสดงไว้ในแบบหรือในข้อกำหนดการก่อสร้าง โดยใช้เครื่องมือและวิธีการที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นชอบ ห้ามดัดเหล็กเสริมโดยใช้ความร้อน

5.1.12.8 การงอขอ

ของอมาตรฐาน ในที่นี้หมายถึงของอที่ตรงตามข้อกำหนดข้อใดข้อหนึ่งดังต่อไปนี้

(1) ส่วนที่งอ 180 องศา หรืองอเป็นครึ่งวงกลม ต้องมีส่วนที่ยื่นต่อออกไปจากจุดสิ้นสุดโค้งอีกอย่างน้อย 4 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น แต่ต้องไม่น้อยกว่า 60 มม.

(2) ส่วนที่งอ 90 องศา หรืองอเป็นมุมฉาก ต้องมีส่วนที่ยื่นต่อออกไปจากจุดสิ้นสุดโค้งถึงปลายสุดของเหล็กอีกอย่างน้อย 12 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น

(3) เหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอก ให้งอ 90 องศา หรือ 135 องศา ต้องมีส่วนที่ยื่นต่อออกไปจากจุดสิ้นสุดโค้งถึงปลายสุดของเหล็กอีกอย่างน้อย 6 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น แต่ต้องไม่น้อยกว่า 60 มม.

5.1.12.9 การดัดงอ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดสำหรับการงอเหล็ก

(1) การดัดงอเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD 40 ยกเว้นเหล็กเสริมที่ดัดงอเป็นเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอก เส้นผ่านศูนย์กลางของการงอเหล็กวัดด้านในข้อเหล็กที่งอต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 5.1-16

ตารางที่ 5.1-16 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการงอเหล็กที่เล็กที่สุดของเหล็กเสริม

ขนาดของเหล็ก	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการงอเหล็กที่เล็กที่สุด
12 มม. ถึง 25 มม.	6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น
28 มม. ถึง 35 มม.	8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น

(2) การดัดงอเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD 30 และเหล็กเส้นกลม SR 24 ยกเว้นเหล็กเสริมที่ดัดงอเป็นเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอก เส้นผ่านศูนย์กลางของการงอเหล็กวัดด้านในของเหล็กที่งอ ต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น

(3) เหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอก สำหรับเหล็กเสริมคอนกรีตทุกประเภท เส้นผ่านศูนย์กลาง ของการงอเหล็กวัดด้านในของเหล็กที่งอ ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 5.1-17

ตารางที่ 5.1-17 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการงอที่เล็กที่สุดของเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอก

ขนาดของเหล็ก	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการงอเหล็กที่เล็กที่สุด
6 มม. ถึง 16 มม.	4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น
19 มม. ถึง 32 มม.	6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น

5.1.12.10 การจัดวางเหล็กเสริม

การจัดวางเหล็กเสริมเข้าที่ เหล็กเสริมทุกเส้นจะต้องจัดวาง รองหนุนผูกยึดให้มั่นคงเพียงพอ และถูกต้องตามแบบและข้อกำหนดการก่อสร้างก่อนที่จะเริ่มงานคอนกรีต ตำแหน่งของเหล็กเสริมยอมให้คลาดเคลื่อนได้ภายในระยะที่กำหนด นายช่างผู้ควบคุมงานจะต้องตรวจเหล็กเสริมและให้ความเห็นชอบก่อนเทคอนกรีต ภายหลังจากการเทคอนกรีตแล้ว ห้ามกดหรือตอกเหล็กเสริมเข้าไปในเนื้อคอนกรีต

การรองหนุนเหล็กเสริมส่วนที่ติดกับแบบ จะต้องเป็นแท่งมอร์ตาร์เท่านั้น โดยมีส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับทรายในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 โดยน้ำหนัก มีรูปร่างและขนาดตามที่ได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว และมีลวดผูกเหล็กฝังปลายข้างหนึ่งอยู่ในแท่งมอร์ตาร์ทุกแท่ง สำหรับการรองหนุนระหว่างชั้นเหล็กเสริมภายในจะใช้แท่งมอร์ตาร์ ขาตั้งโลหะ เหล็กปลอก หรือเหล็กยึดก็ได้

5.1.12.10.1 การจัดระยะเหล็กเสริม

(1) ระยะช่องว่างของเหล็กเสริมที่วางขนานกัน (ยกเว้นในเสาและในระหว่างชั้นของเหล็กเสริม ในคาน) ต้องไม่น้อยกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมนั้น ๆ หรือ 1 1/3 เท่าของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบที่ใช้หรือ 25 มม. หรือที่กำหนดไว้ในแบบ ทั้งนี้แล้วแต่อย่างไหนจะมากกว่ากัน

(2) ระยะช่องว่างของเหล็กเสริมแต่ละชั้น ในกรณีที่มีการเสริมเหล็กในคานตั้งแต่สองชั้นขึ้นไป ต้องไม่น้อยกว่า 25 มม. หรือที่กำหนดไว้ในแบบ

(3) ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กเส้นยืนของเสาปลอกเกลียวและปลอกเดี่ยว ต้องไม่น้อยกว่า 1 1/2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น หรือ 1 1/2 เท่าของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบที่ใช้ หรือ 40 มม. หรือที่กำหนดไว้ในแบบ ทั้งนี้แล้วแต่อย่างไหนจะมากกว่ากัน

(4) ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กต่อทาบกับเหล็กต่อทาบด้วยกัน หรือระหว่างเหล็กต่อทาบกับเหล็กเส้นอื่น ให้ใช้เช่นเดียวกันกับที่กำหนดไว้สำหรับระยะช่องว่างระหว่างเส้นนั้น ๆ

(5) มัดเหล็กเสริม (Bundle Bars) คือเหล็กเสริมหลายเส้นที่ขนานกัน และมัดรวมกันโดยถือว่ามัดเหล็กเสริมนั้นเป็นเสมือนเหล็กเส้นเดียว

5.1.12.10.2 ความหนาของคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริม ถ้าไม่ได้ระบุไว้ในแบบเป็นอย่างอื่นให้ใช้ค่าความหนาดังต่อไปนี้

(1) ฐานราก หรือองค์อาคารคอนกรีตอื่น ๆ ซึ่งฝังอยู่ในดินต้องมีความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 75 มม.

(2) เสา คาน หรือองค์อาคารคอนกรีตอื่น ๆ ซึ่งหล่อกับที่ และเมื่อถอดแบบออกแล้วผิวคอนกรีตนั้นสัมผัสดิน ต้องมีความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมรับแรง (ซึ่งไม่ใช่เหล็ก ลูกตั้ง หรือเหล็กปลอก) ไม่น้อยกว่า 50 มม. และสำหรับเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอก ต้องมีความหนาของคอนกรีตหุ้นผิวเหล็กไม่น้อยกว่า 35 มม.

(3) คานคอนกรีตที่ไม่ได้สัมผัสดินโดยตรง ต้องมีความหนาของคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 30 มม.

(4) ผิวขององค์อาคารคอนกรีตอื่น ๆ ที่ไม่ได้สัมผัสดินโดยตรง ความหนาของคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริมในด้านนั้นต้องไม่น้อยกว่า 25 มม.

(5) ความหนาของคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริม สำหรับมัดเหล็กเสริม ต้องไม่น้อยกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมซึ่งมีเนื้อที่หน้าตัดเท่ากับเนื้อที่รวมของมัดเหล็กเสริมนั้น แต่ไม่มากกว่า 50 มม. ยกเว้นในกรณีที่ต้องป้องกันน้ำหรือดินเค็ม

(6) ในกรณีที่ป้องกันน้ำหรือดินเค็มหรือสภาวะที่จะทำให้เกิดการผุกร่อนรุนแรงได้ จะต้องเพิ่ม ความหนาของคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริมส่วนนั้นขึ้นอีก 25 มม.

(7) เหล็กเสริมส่วนที่เปลือย หัวยึด หรือแผ่นเหล็กที่เตรียมไว้สำหรับยึดต่อกับส่วนที่จะต่อเติมในภายหน้าจะต้องห่อหุ้มด้วยคอนกรีตหรือสิ่งอื่นเพื่อป้องกันการผุกร่อน

ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของเหล็กเสริม เมื่อจัดวางเหล็กเสริมเข้าที่แล้วเสร็จ ตำแหน่งของเหล็กเสริมยอมให้คลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดไว้ไม่เกิน 5 มม.

5.1.12.11 การต่อความยาวของเหล็กเสริม

ในกรณีที่ไม่จำเป็นห้ามต่อความยาวเหล็กเสริม นอกจากที่ได้แสดงไว้ในแบบหรือได้รับความเห็นชอบเป็นลายลักษณ์อักษรจากนายช่างผู้ควบคุมงาน การต่อความยาวของเหล็กเสริมกระทำได้ 3 วิธี คือ

(1) การต่อความยาวโดยวิธีทาบเหล็ก

ห้ามต่อเหล็กเสริมขนาดใหญ่กว่า 25 มม. โดยวิธีการทาบเหล็ก สำหรับเหล็กข้ออ้อย ระยะทาบต้องไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่รับแรงดึง และไม่น้อยกว่า 32 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่รับแรงอัด สำหรับเหล็กเส้นกลม ระยะทาบต้องไม่น้อยกว่า 40 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่รับแรงดึงและแรงอัด ที่ปลายของเหล็กเส้นกลมจะต้องงอขอด้วย

(2) การต่อความยาวโดยวิธีเชื่อมไฟฟ้า

การต่อความยาวเหล็กโดยวิธีเชื่อมไฟฟ้า จะต้องเชื่อมต่อโดยวิธีต่อชนแล้วเชื่อมรอบนอกจนเหล็กทั้งสองเส้นต่อเป็นเนื้อเดียวกันลวดเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้ในงานนี้จะต้องเป็นชนิด E 4903 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลวดเชื่อมชนิดเหล็กกล้าเหนียวซึ่งมีปลอกหุ้มสำหรับเชื่อมด้วยประกายไฟฟ้า มาตรฐานเลขที่ มอก. 49 ส่วนกรรมวิธีของการเชื่อมต่อเหล็ก

เสริมให้เป็นไปตาม AWS (American Welding Society Reinforcing Steel Welding Code) และเหล็กเสริมที่ได้ทำการต่อเชื่อมด้วยไฟฟ้าแล้วนี้เมื่อทดสอบด้วยแรงดึงจะต้องไม่ขาดที่รอยเชื่อม

เนื่องจากการควบคุมตรวจสอบรอยต่อเชื่อมไฟฟ้านี้กระทำได้ยาก ฉะนั้นเพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพของเหล็กเสริมที่จะนำมาใช้ให้ได้คุณภาพถูกต้องตามข้อกำหนด ผู้รับจ้างจะต้องเสนอลำดับขั้นกรรมวิธีในการต่อความยาวเหล็กเสริมโดยวิธีเชื่อมไฟฟ้าต่อนายช่างผู้ควบคุมงาน เพื่อพิจารณาเห็นชอบเสียก่อนจึงจะดำเนินการต่อไปได้

การเก็บตัวอย่างเหล็กเสริมที่ต่อความยาวเหล็กโดยวิธีเชื่อมไฟฟ้านี้ ต้องเก็บจากเหล็กเสริมที่ได้ต่อความยาวไว้แล้ว ส่วนจำนวนตัวอย่างเหล็กที่ต้องส่งทดลองให้คิดตามสูตรดังนี้

$$S = 0.04 \sqrt[3]{N^2} \geq 3$$

โดยที่ S หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่ต้องส่งทดลองแต่ไม่น้อยกว่า 3 ตัวอย่าง

และ N หมายถึง จำนวนรอยต่อเชื่อมไฟฟ้า

ขนาดความยาวของตัวอย่างต้องยาวท่อนละไม่น้อยกว่า 1 เมตร โดยมีจุดต่อเชื่อมด้วยไฟฟ้าอยู่ตรงกลางเหล็กตัวอย่างนั้น

(3) การต่อความยาวโดยใช้อุปกรณ์กล (Mechanical Connection)

การต่อความยาวเหล็กโดยใช้อุปกรณ์กล ต้องทำตามรายละเอียดแผนผัง ซึ่งผู้รับจ้างต้องยื่นขออนุมัติต่อนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นลายลักษณ์อักษร เหล็กที่ต่อโดยใช้อุปกรณ์กลเหล่านี้เมื่อทดสอบด้วยแรงดึงจะต้องไม่ขาดที่รอยต่อ การส่งตัวอย่างทดลองจะต้องส่งตัวอย่างเหล็กเสริมที่ต่อด้วยอุปกรณ์กลเหล่านี้จำนวนอย่างน้อยขนาดละ 3 ตัวอย่าง ยาวตัวอย่างละ 1 เมตร โดยมีอุปกรณ์กลซึ่งอยู่กึ่งกลางของท่อนเหล็กตัวอย่างนั้นพร้อมทั้งวิธีการในการใช้อุปกรณ์กลนั้นให้นายช่างผู้ควบคุมงาน เพื่อจัดส่งไปตรวจสอบคุณภาพ

โดยทั่วไปตำแหน่งรอยต่อเหล็กเหล่านี้ต้องไม่อยู่ในแนวเดียวกัน ยกเว้นตามที่ระบุไว้ในแบบเป็นอย่างอื่น ในกรณีที่จำเป็นตำแหน่งรอยต่อเหล็กเหล่านี้อาจจะอยู่ในแนวเดียวกันได้แต่ต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน

การต่อความยาวโดยวิธีเชื่อมไฟฟ้าและการต่อความยาวโดยใช้อุปกรณ์กล ผู้รับจ้างต้องเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในการจัดส่งตัวอย่างทดลอง ค่าธรรมเนียมทดลองวัสดุ และอื่น ๆ ทั้งหมด

5.1.12.10 การเปลี่ยนขนาดเหล็กเสริม

ในกรณีที่มีการเปลี่ยนขนาดเหล็กเสริม ผู้รับจ้างจะต้องเสนอแบบแสดงการเสริมเหล็กพร้อมทั้งแบบการดัดเหล็กและลำดับการวางเหล็กเสริมทุกเส้น เพื่อให้กรมทางหลวงเห็นชอบและผู้รับจ้างจะต้องเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการนี้เองทั้งสิ้น

5.1.13 งานเหล็กเสริมสำหรับคอนกรีตอัดแรง

หมายถึง การจัดหาเหล็กเสริมอัดแรงและประกอบติดตั้งให้ถูกต้องตามตำแหน่งและขนาดของเหล็กเสริมอัดแรง รวมทั้งการดึงเหล็กอัดแรง ด้วยวิธีการดึงเหล็กอัดแรงทีหลัง (Post-Tensioning) หรือ วิธีการดึงเหล็กอัดแรงก่อน (Pretensioning) ให้ถูกต้องตามที่ระบุไว้ในแบบและรายละเอียดข้อกำหนดนี้

5.1.13.1 วิธีดึงเหล็กอัดแรงทีหลัง หมายถึงวิธีการอัดแรงคอนกรีตใด ๆ โดยดึงเหล็กอัดแรงหลังจากเทคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว

5.1.13.2 วิธีดึงเหล็กอัดแรงก่อน หมายถึงวิธีการอัดแรงคอนกรีตใด ๆ โดยดึงเหล็กอัดแรงก่อนการเทคอนกรีต

5.1.13.3 เหล็กเสริมอัดแรงจะต้องเป็นลวดเหล็กแรงดึงสูง (Steel Wire) หรือลวดตีเกลียวแรงดึงสูง (Uncoated Seven Wire Stress-Relieved Stand) หรือเส้นโลหะผสมแรงดึงสูง

5.1.13.3.1 ลวดเหล็กแรงดึงสูง จะต้องเป็นลวดแบบกลมมีร้อยย้ำประเภทคลายแรงมีคุณภาพถูกต้องตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง มาตรฐานเลขที่มอก. 95 ลวดเหล็กแรงดึงสูงจะต้องม้วนเป็นขดกลมมัดแน่น มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของม้วนไม่น้อยกว่า 1.20 ม. สำหรับลวดเหล็กแรงดึงสูงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. และ 5 มม. และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของม้วนไม่น้อยกว่า 1.80 ม. สำหรับลวดเหล็กแรงดึงสูงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มม. และ 9 มม. ลวดแต่ละขดจะต้องเป็นเส้นเดียวกันตลอด ปราศจากส่วนที่หงิกงอ ผิวลวดต้องมีฉลากระบุขนาดแบบประเภท น้ำหนักสุทธิ,

ความยาว, ชั้นคุณภาพ, หมายเลขขด, หมายเลขการหลอมและชื่อ หรือเครื่องหมายของผู้ผลิต ติดแน่นไว้ที่ขดลวดทุกขด

ลวดเหล็กแรงดึงสูงที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

ลวดเหล็กแรงดึงสูงต้องมีคุณสมบัติทางกลตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5.1-18

ตารางที่ 5.1-18 คุณสมบัติทางกลของลวดเหล็กแรงดึงสูง

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ มิลลิเมตร	ความต้านแรงดึง (Tensile Stress) เมกาปาสกาล		ความเค้นพิสูจน์ (Proof stress) ที่ระยะร้อยละ 0.2 เมกาปาสกาล	
	ไม่น้อยกว่า	ไม่มากกว่า	ไม่น้อยกว่า	ไม่มากกว่า
4.00	1,750	2,000	1,500	1,700
5.00	1,750	2,000	1,500	1,700
7.00	1,600	1,850	1,350	1,600
9.00	1,400	1,700	1,250	1,500

ความคลาดเคลื่อนของขนาดและความลึกของรอยย้ำที่ยอมให้ จะต้องมีค่าตามตารางที่ 5.1-19

ตารางที่ 5.1-19 ความคลาดเคลื่อนของขนาดและความลึกของรอยย้ำที่ยอมให้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ มิลลิเมตร	เส้นผ่านศูนย์กลาง มิลลิเมตร	ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ มิลลิเมตร	พิกัดความลึกของรอยย้ำ มิลลิเมตร	
			ไม่น้อยกว่า	ไม่มากกว่า
4	4.00	± 0.05	0.05	0.20
5	5.00	± 0.05	0.05	0.20
7	7.00	± 0.05	0.10	0.25
9	9.00	± 0.05	0.15	0.25

5.1.13.3.2 ลวดเหล็กตีเกลียวแรงดึงสูง ต้องเป็นชนิดที่ประกอบด้วยเส้นลวด 7 เส้น ซึ่งไม่เคลือบผิว และเป็นประเภทคลายแรง มีคุณภาพถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ลวดเหล็กตีเกลียวชนิด 7 เส้น สำหรับงานคอนกรีตอัดแรง มาตรฐานเลขที่ มอก. 420 โดยมีขนาดระบุเป็นนิ้วหรือมิลลิเมตร และจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้อีกด้วย

(1) ลวดเหล็กตีเกลียวต้องประกอบด้วยลวดคาร์บอนสูงจำนวน 7 เส้น เส้นหนึ่งเป็นแกนกลางอีก 6 เส้นพันรอบเป็นเกลียวแนบแน่นมีระยะเกลียวสม่ำเสมอ และมีระยะครบรอบเกลียวไม่น้อยกว่า 12 เท่า และไม่มากกว่า 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางระบุของลวดตีเกลียวนั้นและเมื่อตัดลวดตีเกลียวนั้นโดยไม่ได้มัดหรือจับปลายที่ตัดไว้ปลายเส้นลวดจะต้องไม่แยกกระจายออกจากตำแหน่ง

(2) ลวดเหล็กตีเกลียวแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทความล้าธรรมดา (NR) และประเภทความล้าต่ำ (LR)

(3) ลวดเหล็กตีเกลียวแต่ละประเภทแบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพคือชั้นคุณภาพ 1725 ซึ่งมีความต้านแรงดึงไม่น้อยกว่า 1,725 เมกาปาสกาลและชั้นคุณภาพ 1860 ซึ่งมีความต้านแรงดึงไม่น้อยกว่า 1,860 เมกาปาสกาล

(4) ลวดเหล็กตีเกลียวต้องม้วนเป็นขดกลมมัดแน่น มีเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนในไม่น้อยกว่า 600 มิลลิเมตร ในม้วนหรือขดหนึ่ง ๆ ลวดเหล็กตีเกลียวจะต้องเป็นเส้นเดียวกันตลอด โดยไม่มีรอยต่อเชื่อมหรือรอยต่อเหลื่อมซ้อนและจะต้องห่อหุ้มป้องกันอย่างดี เพื่อมิให้เกิดความเสียหายจากการขนส่งพร้อมทั้งมีฉลากที่แข็งแรงระบุน้ำหนักสุทธิ, ขนาด, ชั้นคุณภาพ, หมายเลขขด, หมายเลขการหลอม และชื่อหรือเครื่องหมายของผู้ผลิตติดไว้อย่างมั่นคง และเห็นได้ชัดเจนที่ขดลวดทุกขด ผิวของลวดเหล็กตีเกลียวจะต้องปราศจากคราบน้ำมันหรือสารอื่นใดที่จะมีผลทำให้แรงยึดระหว่างคอนกรีตกับลวดเหล็กเสียไป และไม่เป็นสนิมขุม

ลวดเหล็กตีเกลียวต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพตามตารางที่ 5.1-20

ตารางที่ 5.1-20 ชื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนค่าความแตกต่าง พื้นที่หน้าตัด และมวลต่อความยาวของลวดเหล็กตีเกลียว

ชั้นคุณภาพ	ชื่อขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลาง มิลลิเมตร		ค่าความแตกต่างต่ำสุด (มิลลิเมตร)	พื้นที่หน้าตัด (ตาราง มิลลิเมตร)	มวลต่อความยาวกิโลกรัมต่อกิโลเมตร
		เกณฑ์ที่กำหนด	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน			
1725	SPC 9 A	9.53	$\pm$ 0.40	0.05	51.61	405
	SPC 12 A	12.70		0.08	92.90	730
	SPC 15 A	15.24		0.10	139.35	1,094
1860	SPC 9 B	9.53	+ 0.65 - 0.15	0.05	54.84	432
	SPC 12 B	12.70		0.08	98.71	775
	SPC 15 B	15.24		0.10	140.00	1,102

หมายเหตุ 1. ชื่อขนาดของลวดเหล็กตีเกลียว ขึ้นต้นด้วยอักษร SPC ซึ่งหมายถึงลวดเหล็กตีเกลียวสำหรับ งานคอนกรีตอัดแรง (Strand for prestressed concrete) ตามด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและอักษรระบุชั้นคุณภาพโดยใช้อักษร A แทน ชั้นคุณภาพ 1725 และอักษร B แทน ชั้นคุณภาพ 1860

2. ค่าความแตกต่าง หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นแกนที่โตกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นรอบแต่ละเส้น

3. พื้นที่หน้าตัดและมวลต่อความยาวที่กำหนดไว้เป็นเพียงค่าแนะนำ

4. พื้นที่หน้าตัดของลวดเหล็กตีเกลียวเป็นผลรวมของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กลวดทั้ง 7 เส้นที่คำนวณจากเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กลวดแต่ละเส้น

ลวดเหล็กตีเกลียวจะต้องมีคุณสมบัติทางกลตามตารางที่ 5.1-21 และตารางที่ 5.1-22

ตารางที่ 5.1-21 สมบัติทางกลของลวดเหล็กตีเกลียวประเภทความล้าธรรมดา

ชื่อขนาด	ความต้านแรงดึงที่จุดยืด		ความยืดต่ำสุด	แรงดึงสูงสุดต่ำสุด	ความล้า 10ชั่วโมงสูงสุด
	แรงดึงเริ่มต้น กิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)	ความต้านแรงดึงที่จุดยืด ร้อยละ 1 ต่ำสุด กิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)	ร้อยละ	กิโลนิวตัน (ประมาณกิโลกรัมแรง)	ร้อยละ
SPC 9 A	8.9 (910)	75.6 (7,710)		89.0 (9,070)	
SPC 12 A	16.0 (1,630)	136.2 (13,880)		160.1 (16,320)	
SPC 15 A	24.0 (2,450)	204.2 (20,820)	3.5	240.2 (24,490)	3.0
SPC 9 B	10.2 (1,040)	87.0 (8,870)		102.3 (10,430)	
SPC 12 B	18.4 (1,880)	156.1 (15,910)		183.7 (18,730)	
SPC 15 B	26.1 (2,660)	221.5 (22,580)		260.7 (26,580)	

หมายเหตุ ค่าความยืดในตารางนี้เป็นค่าที่ได้ขณะทดสอบก่อนที่ลวดเหล็กตีเกลียวจะขาดออกจากกัน

ตารางที่ 5.1-22 สมบัติทางกลของลวดเหล็กตีเกลียวประเภทความล้าต่ำ

ชื่อขนาด	ความต้านแรงดึงที่จุดยืด		ความยืดต่ำสุด	แรงดึงสูงสุดต่ำสุด	ความล้าสูงสุด ร้อยละ	
	แรงดึงเริ่มต้น กิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)	ความต้านแรงดึงที่จุดยืด ร้อยละ 1 ต่ำสุด กิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)	ร้อยละ	กิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)	100 ชั่วโมง	1,000 ชั่วโมง
SPC 9 A	8.9 (910)	80.1 (8,163)		89.0 (9,070)		
SPC 12 A	16.0 (1,630)	144.1 (14,688)		160.1 (16,320)		
SPC 15 A	24.0 (2,450)	216.2 (22,041)	3.5	240.2 (24,490)	1.75	3.5
SPC 9 B	10.2 (1,040)	92.1 (9,387)		102.3 (10,430)		
SPC 12 B	18.4 (1,880)	165.3 (16,857)		183.7 (18,730)		
SPC 15 B	26.1 (2,660)	234.7 (23,922)		260.7 (26,580)		

หมายเหตุ ค่าความยืดในตารางนี้เป็นค่าที่ได้ขณะทดสอบก่อนที่ลวดเหล็กตีเกลียวจะขาดออกจากกัน

5.1.13.3.3 เส้นโลหะผสมแรงดึงสูง ที่ใช้จะต้องได้รับการคลายแรงเค้นแล้ว และภายหลังจากการคลายแรงเค้นจะต้องนำมาดึงให้ยืดในขณะที่เย็น ด้วยความเค้นดึงไม่น้อยกว่า 900 เมกาปาสกาล และเมื่อเส้นโลหะผสมแรงดึงสูงได้ผ่านกรรมวิธีดังกล่าวแล้วจะต้องมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดังต่อไปนี้

ความเค้นดึงสูงสุดไม่น้อยกว่า 1,000 เมกาปาสกาล

ความเค้นดึงพิสูจน์ที่ระยะ 0.7% ต้องไม่น้อยกว่า 900 เมกาปาสกาล

Modulus of Elasticity ไม่น้อยกว่า 172,400 เมกาปาสกาล

ความยืดในช่วงความยาว 20 เท่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้นเมื่อขาดต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 4

ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นโลหะผสมแรงดึงสูงคือ + 0.8 มม. และ - 0.25 มม.

5.1.13.4 เหล็กเสริมไม่อัดแรง

เหล็กเสริมไม่อัดแรง หมายถึง เหล็กเสริมธรรมดาตามข้อ 5.1.12 หรือ เหล็กเสริมอัดแรงที่ไม่ได้มีการใช้แรงภายนอกดึงเพื่ออัดแรง ทั้งนี้ให้ใช้ตามที่ระบุไว้ในแบบ

5.1.13.5 อุปกรณ์หัวยึด (Anchorage Assemblies)

อุปกรณ์หัวยึดปลายจะต้องออกแบบเป็นพิเศษ เพื่อใช้กับงานคอนกรีตอัดแรงโดยเฉพาะต้องเป็นแบบที่เคยใช้ในงานอย่างเดียวกันมาแล้ว และปรากฏให้เห็นว่าทำงานได้ถูกต้องมีความคงทนถาวร เหมาะสำหรับงานประเภทนี้ ผู้รับจ้างจะต้องเสนอตัวอย่างและเอกสารแสดงรายละเอียดรวมทั้งคุณสมบัติต่าง ๆ ของอุปกรณ์หัวยึดให้นายช่างผู้ควบคุมงานตรวจสอบและพิจารณาอนุญาตให้นำมาใช้ในงาน ห้ามนำอุปกรณ์หัวยึดที่ไม่ได้ผ่านการตรวจสอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานมาใช้งานโดยเด็ดขาด อนึ่ง หากเอกสารต่าง ๆ ที่เสนอประกอบการพิจารณาอนุมัติให้ใช้อุปกรณ์หัวยึดมีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะพิสูจน์ได้ว่าอุปกรณ์หัวยึดดังกล่าว มีคุณภาพดีเหมาะสมกับงานประเภทนี้แล้ว นายช่างผู้ควบคุมงานจะเก็บตัวอย่างให้กรมทางหลวงทำการทดลองอุปกรณ์หัวยึด โดยที่อุปกรณ์หัวยึดดังกล่าวจะต้องสามารถยึดรั้งเหล็กเสริมอัดแรง

ซึ่งดึงด้วยแรงดึงไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของแรงดึงสูงสุดขั้นต่ำตามที่ได้กำหนดไว้สำหรับเหล็กเสริมอัดแรงนั้น โดยไม่เกิดความเสียหาย และการที่นายช่างผู้ควบคุมงานอนุญาตให้นำอุปกรณ์หัวยึดดังกล่าวมาใช้งานนี้ไม่เป็นเหตุให้ผู้รับจ้างพ้นภาระรับผิดชอบต่อความชำรุดเสียหายอันอาจเกิดขึ้นในระหว่างหรือภายหลังเทคอนกรีต

5.1.13.6 อุปกรณ์ต่อเหล็ก (Couplers)

ในกรณีที่จำเป็นต้องต่อเหล็กเสริมอัดแรง ให้ต่อเหล็กเสริมอัดแรงให้ต่อเนื่องกันโดยใช้อุปกรณ์ต่อเหล็กที่ออกแบบเป็นพิเศษเพื่อใช้กับงานนี้โดยเฉพาะ อุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องเป็นแบบที่เคยใช้ในงานอย่างเดียวกันมาแล้ว และปรากฏให้เห็นว่าทำงานได้ถูกต้องมีความคงทนถาวรเหมาะสำหรับงานประเภทนี้ ผู้รับจ้างจะต้องเสนอตัวอย่างและเอกสารแสดงรายละเอียดรวมทั้งคุณสมบัติต่าง ๆ ของอุปกรณ์ต่อเหล็กให้นายช่างผู้ควบคุมงานตรวจสอบและพิจารณาอนุญาตให้นำมาใช้ในงาน ห้ามนำอุปกรณ์ต่อเหล็กที่ไม่ได้ผ่านการตรวจสอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานมาใช้งานโดยเด็ดขาด หากเอกสารต่าง ๆ ที่เสนอประกอบการพิจารณาอนุมัติให้ใช้อุปกรณ์ต่อเหล็กมีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะพิสูจน์ได้ว่า อุปกรณ์ต่อเหล็กดังกล่าวมีคุณภาพดีเหมาะสมกับงานประเภทนี้แล้วนายช่างผู้ควบคุมงานจะเก็บตัวอย่างให้กรมทางหลวงทำการทดลองอุปกรณ์ต่อเหล็ก โดยที่อุปกรณ์ต่อเหล็กดังกล่าวจะต้องสามารถถ่ายทอดแรงดึงได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของแรงดึงสูงสุดขั้นต่ำตามที่ได้กำหนดไว้สำหรับเหล็กเสริมอัดแรงนั้นโดยไม่เกิดความเสียหาย และการที่นายช่างผู้ควบคุมงานอนุญาตให้นำเอาอุปกรณ์ต่อเหล็กดังกล่าวมาใช้งานนั้นไม่เป็นเหตุให้ผู้รับจ้างพ้นภาระรับผิดชอบต่อความชำรุดเสียหายอันอาจเกิดขึ้นในระหว่างหรือภายหลังเทคอนกรีต

5.1.13.7 ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง (Enclosures, Sheaths, Ducts)

ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงต้องเป็นโลหะที่มีผิวเป็นลอนหรือเป็นบั้งตามขวางตลอดความยาวของท่อร้อย มากพอที่จะทำให้แรงยึดหน่วงระหว่างผิวของท่อร้อยกับคอนกรีตเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ท่อร้อยจะต้องมีความแข็งแรงพอที่จะคงรูปเดิมได้ เมื่อได้รับแรงกระทำต่าง ๆ อันเกิดจากการเทคอนกรีต และต้องสามารถกันไม่ให้น้ำปูนรั่วซึมเข้าไปภายในท่อได้ ขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลางภายในของท่อร้อยให้มีขนาดตามคำแนะนำหรือข้อกำหนดของผู้ผลิตเคเบิ้ล(Cable) เหล็กเสริมอัดแรงที่มาใช้

ผู้รับจ้างจะต้องเสนอตัวอย่างพร้อมทั้งเอกสารแสดงรายละเอียดและคุณสมบัติต่าง ๆ ของท่อร้อยที่ต้องการจะนำมาใช้ในงานให้นายช่างผู้ควบคุมงานพิจารณาตรวจสอบให้ความเห็นชอบเสียก่อน ห้ามไม่ให้นำท่อร้อยที่ไม่ได้ผ่านการตรวจสอบและอนุญาตจากนายช่างผู้ควบคุมงานมาใช้ในงานเป็นอันขาด การที่นายช่างผู้ควบคุมงานอนุญาตให้นำเอาท่อร้อยดังกล่าวมาใช้ในงานนี้ไม่เป็นเหตุให้ผู้รับจ้างพ้นภาระรับผิดชอบต่อความชำรุดเสียหายอันอาจเกิดขึ้นในระหว่างหรือภายหลังการเทคอนกรีต

ในกรณีที่ผู้รับจ้างต้องการจะทำรูหรือช่องสำหรับร้อยเหล็กเสริมอัดแรงโดยใช้ท่อยางหรือวัสดุอื่นใดที่เหมาะสมเป็นแบบในขณะหล่อคอนกรีต และถอดแบบดังกล่าวออกก่อนการร้อยเหล็กเสริมอัดแรงเข้าในรูหรือช่องที่ทำไว้แทนการใช้ท่อร้อย ผู้รับจ้างจะต้องเสนอรายละเอียดตลอดจนวิธีการในการทำรู หรือช่องร้อยเหล็กดังกล่าว ให้กรมทางหลวงพิจารณาอนุมัติก่อน

5.1.13.8 การจัดหาวัสดุ

ลวดเหล็กแรงดึงสูง ลวดเหล็กตีเกลียวแรงดึงสูง หรือเส้นโลหะผสมแรงดึงสูงที่จะนำมาใช้ในงานนี้ ผู้รับจ้างควรจะจัดหาและนำส่งมาถึงสถานที่ก่อสร้างครั้งละจำนวนมาก ๆ เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบและอนุญาตให้ใช้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้รับจ้างเอง

ลวดเหล็กแรงดึงสูง ลวดเหล็กตีเกลียวแรงดึงสูง และเส้นโลหะผสมแรงดึงสูงที่จัดส่งและนำมาใช้ในงานก่อสร้างนี้ จะต้องป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อเส้นโลหะนั้นอันเนื่องมาจากการขนส่งและจะต้องมีแผ่นป้ายหรือตราหรือเอกสารอื่นใด เพื่อแสดงความยาว ขนาดคุณภาพ และบริษัทผู้ผลิต กำกับมาด้วยทุกครั้ง

อุปกรณ์หัวยึด อุปกรณ์ต่อเหล็ก และท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงซึ่งผู้รับจ้างจัดส่งและนำมาใช้ในงานก่อสร้างนี้จะต้องมีป้ายหรือตราประทับหรือเอกสารอื่นใด เพื่อแสดงชนิด ขนาด และบริษัทผู้ผลิตกำกับ มาพร้อมกับวัสดุอุปกรณ์เหล่านั้นด้วยทุกครั้ง

5.1.13.9 การเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบคุณภาพ

การเก็บตัวอย่างวัสดุก่อสร้าง เพื่อทดสอบคุณภาพ จะต้องจัดเก็บจากวัสดุก่อสร้างที่ได้นำส่งมาเก็บไว้บริเวณสถานที่ก่อสร้างต่อหน้านายช่างผู้ควบคุมงานหรือผู้แทนเท่านั้น และให้นายช่างผู้ควบคุมงานหรือผู้แทนเป็นผู้จัดส่งตัวอย่างเพื่อไปทดสอบคุณภาพ วัสดุก่อสร้างต่าง ๆ จะนำไปใช้งานได้ต่อเมื่อผลการตรวจคุณภาพใช้ได้

วิธีการเก็บตัวอย่างลวดเหล็กแรงดึงสูงหรือลวดเหล็กตีเกลียวแรงดึงสูง หรือเส้นโลหะผสมแรงดึงสูง ให้ตัดลวดเหล็กหรือเส้นโลหะของม้วนลวดเหล็กหรือเส้นโลหะนั้น ซึ่งนายช่างผู้ควบคุมงานหรือผู้แทนได้เลือกไว้ม้วนละ 1 ตัวอย่าง ส่วนวิธีการเก็บตัวอย่างอุปกรณ์หัวยึดอุปกรณ์ต่อเหล็กและท่อร้อยให้นายช่างผู้ควบคุมงานหรือผู้แทนเลือกเอาจากจำนวนวัสดุก่อสร้างแต่ละชนิดซึ่งผู้รับจ้างได้จัดหาไว้ที่หน้างาน ผู้รับจ้างต้องอำนวยความสะดวกให้แก่นายช่างผู้ควบคุมงานหรือผู้แทนในการจัดเก็บตัวอย่างวัสดุก่อสร้างเหล่านี้เป็นอย่างดี

จำนวนตัวอย่างวัสดุก่อสร้างแต่ละชนิดที่ต้องจัดส่งเพื่อทำการทดสอบคุณภาพให้คิดจากจำนวนวัสดุก่อสร้างแต่ละชนิดซึ่งได้จัดหามาไว้ที่หน้างานตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ตัวอย่างลวดเหล็กแรงดึงสูง จะต้องยาวอย่างน้อยท่อนละ 1 เมตร และจำนวนตัวอย่างที่ต้องส่งไปทดสอบคุณภาพให้คิดตามสูตรดังต่อไปนี้

$$S = 0.02 \sqrt[3]{N^2} \geq 2$$

โดยที่ S หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่ต้องส่งไปทดสอบคุณภาพ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง ถ้ามีเศษเกินครึ่งให้ปัดเพิ่มขึ้นอีก 1 ตัวอย่าง

N หมายถึง จำนวนม้วนของลวดเหล็กแรงดึงสูงที่มีความยาวเท่ากัน สำหรับม้วนลวดเหล็กที่มีความยาวม้วนละ 100 เมตรถึง 300 เมตร

(2) ตัวอย่างลวดเหล็กตีเกลียวแรงดึงสูง จะต้องยาวอย่างน้อยท่อนละ 1 เมตร และจำนวน ตัวอย่างที่ต้องส่งไปทดสอบคุณภาพให้คิดตามสูตรดังต่อไปนี้

$$S = K \sqrt[3]{N^2} \geq 2$$

โดยที่ S หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่ต้องส่งไปทดสอบคุณภาพ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง ถ้ามีเศษเกินครึ่งให้ปัดเพิ่มขึ้นอีก 1 ตัวอย่าง

K เท่ากับ 0.9 สำหรับม้วนลวดที่มีความยาวน้อยกว่า 3,000 ม.

และ เท่ากับ 1.5 สำหรับม้วนลวดที่มีความยาวมากกว่า 3,000 ม.

N หมายถึง จำนวนม้วนของลวดเหล็กตีเกลียวแรงดึงสูงที่มีความยาวเท่ากัน

(3) ตัวอย่างเส้นโลหะผสมแรงดึงสูง จะต้องยาวท่อนละไม่น้อยกว่า 60 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นโลหะผสมแรงดึงสูงนั้น แต่ต้องยาวไม่น้อยกว่า 1 เมตร และจำนวนตัวอย่างที่ต้องส่งไปทดสอบคุณภาพให้คิดตามสูตรดังต่อไปนี้

$$S = W/5 \geqslant 2$$

โดยที่ S หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่ต้องส่งไปทดสอบคุณภาพ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง ถ้ามีเศษเกินครึ่งให้ปัดเพิ่มขึ้นอีก 1 ตัวอย่าง

W หมายถึง จำนวนน้ำหนักของเส้นโลหะผสมแรงดึงสูง มีหน่วย เป็นตัน

(4) ในกรณีที่ให้มีการทดสอบคุณภาพอุปกรณ์หัวยึด และอุปกรณ์ต่อเหล็กจำนวนตัวอย่าง ที่ต้องการเพื่อทดสอบคุณภาพให้คิดตามสูตรดังต่อไปนี้

$$S = N/100 \geqslant 1$$

โดยที่ S หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่ต้องส่งไปทดสอบคุณภาพ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 1 ตัวอย่าง ถ้ามีเศษเกินครึ่งให้ปัดเพิ่มขึ้นอีก 1 ตัวอย่าง

N หมายถึง จำนวนแต่ละชนิดของอุปกรณ์หัวยึด หรืออุปกรณ์ต่อเหล็ก

5.1.13.10 วิธีการก่อสร้าง

ผู้รับจ้างจะต้องจัดหาเครื่องมือทุกชนิดที่จำเป็นสำหรับการก่อสร้างและอัดแรง พร้อมทั้งช่างฝีมือที่ชำนาญงานในระบบอัดแรงนั้น ทั้งนี้โดยให้นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นชอบก่อน ในกรณีที่ใช้เครื่องมืออัดแรงแบบแม่แรงน้ำมัน จะต้องติดตั้งเครื่องวัดแรงดันที่มีความละเอียดเพียงพอ และจะต้องหาค่าความสัมพันธ์ของแม่แรงและเครื่องวัดที่ใช้ประกอบกันนั้น พร้อมทั้งจัดทำตารางหรือแผนภูมิแสดงค่าสัมพันธ์ให้นายช่างผู้ควบคุมงานด้วย ถ้าใช้แม่แรงชนิดอื่นจะต้องจัดหาแหวนรับน้ำหนัก (Proving Ring) ที่รู้ค่าความสัมพันธ์ เพื่อจะได้ทราบค่าแรงดันแม่แรงนั้นได้อย่างถูกต้อง

5.1.13.10.1 การเก็บรักษาวัสดุ

วัสดุก่อสร้างต่าง ๆ ที่ใช้ในงานก่อสร้างนี้จะต้องขนส่งและเก็บรักษาในลักษณะที่ไม่ทำให้วัสดุก่อสร้างนั้นได้รับความเสียหาย หรือเปรอะเปื้อน ผู้รับจ้างจะต้องแยกเก็บวัสดุก่อสร้างแต่ละชนิดให้เป็นสัดส่วน เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบและนำไปใช้งาน วัสดุก่อสร้างส่วนที่ได้ตรวจสอบแล้วจะต้องแยกจากส่วนวัสดุก่อสร้างที่ยังไม่ได้ตรวจสอบให้เห็นได้อย่างชัดเจน ผู้รับจ้างต้องแยกส่วนวัสดุก่อสร้างสำหรับใช้ในงานก่อสร้างนี้ออกจากวัสดุก่อสร้างของงานอื่นให้เห็นได้อย่างชัดเจน

5.1.13.10.2 การจัดวางเหล็กและอุปกรณ์

เหล็กเสริมอัดแรง อุปกรณ์หัวยึด อุปกรณ์ต่อเหล็ก ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง จะต้องวางไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ตามที่แสดงไว้ในแบบหรือรายการข้อกำหนด และต้องยึดให้มั่นคง ไม่เคลื่อนที่ในระหว่างเทคอนกรีต และในระหว่างที่คอนกรีตก่อตัว โดยใช้แท่งคอนกรีต ขาตั้งโลหะ อุปกรณ์หนุน อุปกรณ์แขวน หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่ได้รับความเห็นชอบแล้ว ผูกยึดหรือรองหนุนให้มั่นคง

5.1.13.10.3 วิธีดึงเหล็กอัดแรงก่อน (Pretensioning Method)

การดึงเหล็กเสริมอัดแรง จะกระทำได้ต่อเมื่อเหล็กเสริมอัดแรงได้จัดวางไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว และการดึงเหล็กจะต้องดึงจนมีความเค้นในเหล็กเสริมอัดแรงได้ตามที่แสดงไว้ในแบบผู้รับจ้างจะต้องเสนอกรรมวิธีการดึงเหล็กอัดแรงนี้เพื่อให้นายช่างผู้ควบคุมงานให้ความเห็นชอบก่อน ผู้รับจ้างจะต้องแจ้งให้นายช่างผู้ควบคุมงานทราบล่วงหน้าก่อนและต้องจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับใช้ตรวจสอบขณะดึงเหล็กด้วย

โครงสร้างคอนกรีตหลาย ๆ หน่วย อาจจะดึงเหล็กเสริมอัดแรงและหล่อคอนกรีตพร้อมกันในแนวเดียวกันได้ แต่จะต้องเว้นระยะห่างระหว่างปลายโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงแต่ละหน่วยให้เพียงพอเพื่อการตัดเหล็กเสริมอัดแรง ห้ามตัดเหล็กเสริมอัดแรงจนกว่าจะได้ถอดแบบข้างออกแล้วและคอนกรีตของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงนั้นสามารถต้านแรงอัดได้ตามที่ระบุไว้ในแบบโดยให้ทำการทดสอบแท่งคอนกรีตตัวอย่างซึ่งบ่มในสภาพเดียวกับชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นก่อน การถ่ายแรงอัดจากเหล็กเสริมอัดแรงเข้าไปในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงจะต้องทำในลักษณะที่ทำให้เกิดแรงอัดในโครงสร้างคอนกรีตนั้นสมดุลที่สุด

5.1.13.10.4 วิธีดึงเหล็กอัดแรงทีหลัง (Post-Tensioning Method)

(1) การประกอบเคเบิ้ล (Manufacture of Cables or Tendons)

ในการก่อสร้างคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีดึงเหล็กเสริมอัดแรงทีหลังจะใช้วิธีวางเคเบิ้ลเหล็กเสริมอัดแรงก่อนแล้วหล่อคอนกรีตทีหลัง หรือใช้วิธีหล่อคอนกรีตก่อนแล้วใส่เคเบิ้ลเหล็กเสริมอัดแรงทีหลังก็ได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการก่อสร้าง เคเบิ้ลเหล็กเสริมอัดแรงหนึ่งเคเบิ้ลอาจประกอบด้วยเหล็กเสริมอัดแรงหลายเส้นมัดรวมกัน หรือประกอบด้วยเหล็กอัดแรงเพียงเส้นเดียววิธีการในการประกอบเคเบิ้ลเหล็กเสริมอัดแรงนี้จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน

ก่อนที่จะนำท่อร้อยไปใช้ในงานจะต้องตรวจสอบและซ่อมแซมส่วนที่บกพร่องให้เรียบร้อย การซ่อมแซมและการตัดท่อร้อยที่เสียหายให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน ผู้รับจ้างจะต้องจัดหาอุปกรณ์คั่นเหล็กเสริมอัดแรง (Spacers) ที่เหมาะสมเพื่อยึดเหล็กเสริมอัดแรงให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องในท่อร้อย และเพื่อทำให้มีช่องว่างรอบ ๆ เหล็กเสริมอัดแรงแต่ละเส้นในท่อร้อยเพียงพอที่จะใส่วัสดุสำหรับอัดอุดได้โดยรอบและสะดวก โลหะที่ใช้ทำอุปกรณ์คั่นเหล็กเสริมอัดแรงนี้จะต้องเป็นเหล็ก

การต่อท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงจะต้องใช้อุปกรณ์ต่อหรือวัสดุพันหุ้มที่คอนกรีตสามารถยึดเกาะได้และไม่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต การต่อท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง อุปกรณ์ต่อหรือวัสดุพันหุ้มท่อร้อย และอุปกรณ์คั่นเหล็กเสริมอัดแรงเหล่านี้ ก่อนที่จะนำมาใช้จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน

(2) การวางท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง

การขนส่ง ขนย้ายและการวางท่อร้อยเข้าที่ จะต้องทำด้วยความระมัดระวังโดยต้อง ไม่ทำให้ท่อร้อยหักหรือโค้งงอมาก ท่อร้อยจะต้องวางเข้าที่และผูกยึดให้มั่นคงด้วยอุปกรณ์ที่เหมาะสมและได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งท่อร้อยแต่ละท่อที่วางเข้าที่ ยอมให้คลาดเคลื่อนไปจากที่ระบุไว้ในแบบได้ไม่เกิน 6 มม. และตำแหน่งของศูนย์กลางของกลุ่มท่อร้อยทั้งหมดยอมให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 3 มม. ในขณะเทคอนกรีตท่อร้อยจะต้องเคลื่อนที่ไม่ได้และจะต้องระมัดระวังไม่ให้ท่อร้อยหรือปลอกหุ้มเสียหายด้วย

ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงจะต้องเตรียมให้สามารถอัดอุดและระบายอากาศออกให้หมด ท่อหรือรูสำหรับอัดอุดและระบายอากาศเหล่านี้ จะต้องสามารถอุดกั้นไม่ให้วัสดุที่ให้อัดอุดรั่วไหลออกมาภายหลังจากการอัดอุดแล้วได้ ท่อหรือรูสำหรับอัดอุดและระบายอากาศจะต้องยึดให้มั่นคง

ภายหลังจากวางท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง ผูกเหล็กและประกอบแบบเรียบร้อยแล้ว จะต้องตรวจสอบความเรียบร้อยของท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงก่อนทำการเทคอนกรีตทุกครั้ง

(3) การประกอบและติดตั้งอุปกรณ์หัวยึดและอุปกรณ์ต่อเหล็ก

อุปกรณ์หัวยึดและอุปกรณ์ต่อเหล็ก จะต้องประกอบและติดตั้งให้ถูกต้องตรงตามตำแหน่งที่แสดงไว้ในแบบและให้อยู่ในแนวแกนเดียวกันกับแนวแกนของเหล็กเสริมอัดแรงหรือเคเบิ้ลนั้น ๆ และต้องยึดจับให้มั่นคงไม่ให้เคลื่อนที่ได้ในระหว่างเทคอนกรีต

(4) การดึงเหล็กอัดแรงทีหลัง

ในกรณีที่ไม่ได้กำหนดวิธีการดึงเหล็กเสริมอัดแรงไว้ในแบบ ผู้รับจ้างจะต้องเสนอแผนงาน วิธีการดึงเหล็กเสริมอัดแรงและชนิดของแม่แรงที่จะใช้ เพื่อให้นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นชอบก่อนเริ่มงาน แผนงานการดึงเหล็กเสริมอัดแรงนี้ ต้องประกอบด้วยลำดับวิธีการดึงเหล็กเสริมอัดแรง ขนาดของแรงดึงที่จะใช้ และระยะยืดของเหล็กเสริมอัดแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงนั้น

ห้ามอัดแรงเข้าไปในโครงสร้างคอนกรีต ก่อนที่คอนกรีตของโครงสร้างนั้นจะสามารถรับแรงอัดได้ไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ในแบบ โดยให้ทำการทดสอบแท่งคอนกรีตตัวอย่างซึ่งบ่มในสภาพเดียวกับชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นก่อน การอัดแรงเข้าไปในโครงสร้างคอนกรีตจะต้องทำในลักษณะที่ทำให้เกิดแรงอัดในโครงสร้างคอนกรีตสมดุลที่สุด

ก่อนที่จะทำการดึงเหล็กเสริมอัดแรง จะต้องทำความสะอาดอุปกรณ์หัวยึดเหล็กเสริมอัดแรง ท่อร้อย และตรวจสอบความพร้อมเพรียงของอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เรียบร้อยก่อน

วิธีการดึงเหล็กเสริมอัดแรงจะต้องทำให้สามารถอ่านค่าแรงดึงและวัดระยะยืดได้ตลอดเวลาในขณะดึงเหล็กเสริมอัดแรง การวัดค่าแรงดึงให้อ่านจากเครื่องวัดที่มีความละเอียดเพียงพอ ภายหลังจากปล่อยอุปกรณ์หัวยึดเหล็กเสริมอัดแรงและเกิดการรูดของเหล็ก

เสริมอัดแรงในอุปกรณ์หัวยึดแล้วให้บันทึกระยะยืดเหล็กเสริมอัดแรงที่เหลือไว้ สำหรับเคเบิ้ลที่ประกอบด้วยเหล็กเสริมอัดแรงจำนวนหลายเส้นรวมกัน จะต้องจับยึดติดกับแม่แรงดึงเหล็กอย่างระมัดระวังให้แน่นเพื่อให้เหล็กเสริมอัดแรงแต่ละเส้นในเคเบิ้ลยืดออกมาเท่า ๆ กัน

ผู้รับจ้างจะต้องอำนวยความสะดวกให้แก่นายช่างผู้ควบคุมงาน ในการตรวจสอบการดึงเหล็กเสริมอัดแรง และจะต้องจดบันทึกข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับการดึงเหล็กเสริมอัดแรงตามแบบฟอร์มซึ่งนายช่างผู้ควบคุมงานจะกำหนดให้ และผู้รับจ้างจะต้องส่งบันทึกข้อมูลนี้ให้นายช่างผู้ควบคุมงานทันที เมื่อดึงเหล็กเสริมอัดแรงสำหรับโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงนั้นแล้วเสร็จ ในกรณีที่เหล็กเสริมอัดแรงหรืออุปกรณ์หัวยึดหรืออุปกรณ์ต่อเหล็กขาดหรือชำรุดเสียหาย การเปลี่ยนเหล็กเสริมอัดแรง หรืออุปกรณ์หัวยึด หรืออุปกรณ์ต่อเหล็ก จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน

ก่อนการจับยึดเหล็กเสริมอัดแรงด้วยอุปกรณ์หัวยึด และการอัดอุด จะต้องได้รับการตรวจสอบและอนุญาตจากนายช่างผู้ควบคุมงาน

(5) การขอเปลี่ยนระบบการดึงเหล็กอัดแรงทีหลัง

ในกรณีที่ผู้รับจ้างต้องการใช้ระบบอัดแรง หรือวิธีดึงเหล็กนอกเหนือไปจากที่ระบุไว้ในแบบ ก็สามารถทำได้ โดยทางผู้รับจ้างจะต้องเสนอรายละเอียด แบบก่อสร้างพร้อมทั้งรายการคำนวณให้กรมทางหลวงพิจารณาเห็นชอบก่อน

5.1.14 แบบหล่อคอนกรีต, ค้ำยัน, นั่งร้าน และโครงสร้างชั่วคราว

5.1.14.1 แบบหล่อคอนกรีต

แบบหล่อคอนกรีตต้องทำด้วยไม้ ไม้อัด โลหะ หรือวัสดุอื่นที่ได้รับความเห็นชอบแบบจะต้อง เป็นไปตามรูปร่าง แนว ระดับและมิติต่าง ๆ ดังแสดงในแบบ การทำแบบจะต้องทำให้มีความมั่นคงแข็งแรง และต้องยึดค้ำยันแบบให้สามารถทรงรูปร่างได้ไม่ทรุด แอ่น โค้ง งอ หรือบิดเบี้ยวไปในระหว่างการเท การทำให้แน่น และการแข็งตัวของคอนกรีต รวมทั้งสามารถรับน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลา ปฏิบัติการดังกล่าวด้วย รอยต่อแบบหล่อจะต้องสนิท น้ำปูนรั่วไหลไม่ได้ ผู้รับจ้างจะต้องเป็นผู้ออกแบบ และคำนวณแบบหล่อคอนกรีตให้เหมาะสมตามข้อกำหนดนี้ และจะต้องรับผิดชอบต่อความเสียหายในทุกกรณีอันอาจเกิดขึ้นเนื่องจากแบบหล่อ

แบบหล่อสำหรับงานคอนกรีตอัดแรงจะต้องมีคุณลักษณะที่ยอมให้คอนกรีตของชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นสามารถหดตัวได้เมื่อได้รับการอัดแรง และจะต้องมีมาตรการป้องกันไม่ให้แบบหล่อด้านล่างยึดติดกับเนื้อคอนกรีต นอกจากนี้จะต้องออกแบบให้แบบข้างสามารถถอดออกได้โดยไม่ทำให้ความมั่นคงของแบบที่เหลืออยู่ลดน้อยลง หรือก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นกับผิวคอนกรีตส่วนนั้น

แบบหล่อสำหรับผิวคอนกรีตภายนอกที่มองเห็นได้ทั่วไปและไม่มีการฉาบปูนทับภายหลังนั้น ผิวด้านในของแบบหล่อที่สัมผัสกับคอนกรีตจะต้องเรียบสม่ำเสมอ ซึ่งเมื่อถอดแบบหล่อแล้ว ผิวคอนกรีต ต้องเรียบ สะอาด และสวยงาม ถ้าหากสกปรกหรือไม่เรียบร้อย ให้ผู้รับจ้างขัดและตกแต่งผิวให้สวยงามนอกจากนี้ตามขอบหรือมุมของผิวคอนกรีตที่มองเห็นได้จะต้องลบเหลี่ยมโดยทำบัวขนาด 20 มม.

ไม้ทำแบบหล่อจะต้องมีขนาดระบุหนาไม่น้อยกว่า 25 มม. แข็ง ไม่ผุ ไม่โก่งงอ บิดเบี้ยว ไม่มียาง จับติด ไม่มีรอยแตกและตาไม้ขนาดใหญ่ซึ่งอาจหลุดออกได้ ขอบไม่เป็นคลื่นหรือมีข้อเสียอย่างอื่นซึ่งจะทำให้กำลังหรือรูปแบบของโครงสร้างเมื่อถอดแบบแล้วเสียหายไป ไม้อัดที่ใช้ทำแบบจะต้องเป็นชนิดทนน้ำ หนาไม่น้อยกว่า 10 มม. สำหรับไม้อัดที่ใช้บุชั้นในแบบจะต้องหนาไม่น้อยกว่า 4 มม.

แบบหล่อที่ใช้แล้วถ้าจะนำมาใช้งานใหม่ จะต้องซ่อมแซมให้คงรูปเดิม มีความมั่นคงแข็งแรง รอยต่อสนิทน้ำปูนรั่วไหลไม่ได้ และผิวเรียบปราศจากสิ่งสกปรกแปลกปลอมเกาะติดเปรอะเปื้อนห้ามนำแบบที่ไม่ได้แก้ไขให้เรียบร้อยได้รูปแบบที่ถูกต้องมาใช้งานอีกเป็นอันขาด

เหล็กหรืออุปกรณ์ที่ใช้ยึดภายในขอบแบบหล่อจะต้องจัดทำให้สามารถเอาออกได้ลึกจากผิวคอนกรีตไม่น้อยกว่า 25 มม. หรือตามที่ระบุไว้ในแบบ โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่คอนกรีตส่วนนั้น และห้ามมิให้โลหะใด ๆ ฝังทิ้งอยู่ในเนื้อคอนกรีตลึกจากผิวหน้าคอนกรีตน้อยกว่า 25 มม.

แบบหล่อจะต้องสร้างให้สามารถทำความสะอาดและขจัดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ ที่ตกค้างอยู่ภายในแบบออกได้โดยง่าย โดยไม่ทำให้มิติต่าง ๆ ของแบบซึ่งนายช่างผู้ควบคุมงานตรวจสอบเห็นชอบแล้วคลาดเคลื่อนไป

วัสดุหรืออุปกรณ์ต่างๆ เช่น ท่อเดินสายไฟ ท่อระบายน้ำ ที่จะต้องฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีต หรือช่องว่างหรือรูที่ต้องทำเตรียมไว้เพื่อติดตั้งอุปกรณ์อื่นใดภายหลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะต้องทำการจัดวางหรือติดตั้งให้มั่นคง ถูกต้องตรงตำแหน่งที่กำหนด ไม่เคลื่อนที่ไปในขณะที่ทำการเทคอนกรีต วิธีการ ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวหากไม่ได้แสดงไว้ในแบบ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน

ผิวภายในแบบหล่อจะต้องทำความสะอาด และราดน้ำให้ชุ่มก่อนเทคอนกรีต ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน ในกรณีที่ใช้น้ำมันทาแบบจะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเสียก่อนในการนี้นายช่างผู้ควบคุมงานอาจให้ทดลองน้ำมันซึ่งผู้รับจ้างจะใช้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าน้ำมันดังกล่าวจะไม่ทำให้ผิวคอนกรีตมีสีผิดไป หรือทำให้ผิวคอนกรีตเสียหายด้วยประการใด ๆ ผู้รับจ้างจะต้องระวังไม่ให้น้ำมันทาแบบเปรอะเปื้อนเหล็กเสริมหรือวัสดุอุปกรณ์อย่างอื่นที่จะฝังทิ้งอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นอันขาด

5.1.14.2 ค้ำยัน นั่งร้าน และโครงสร้างชั่วคราว

ผู้รับจ้างจะต้องเป็นผู้คำนวณออกแบบ ค้ำยัน นั่งร้าน และโครงสร้างชั่วคราวต่าง ๆ ที่ใช้ยัน และรับแบบหล่อคอนกรีต โดยจะต้องรับผิดชอบในทุกกรณีหากมีความเสียหายเกิดขึ้นเนื่องจากการออกแบบไม่หมาะสม ก่อนที่จะทำการก่อสร้างนั่งร้านหรือโครงสร้างชั่วคราวอื่น ๆ นายช่างผู้ควบคุมงานอาจจะขอให้ผู้รับจ้างส่งรายการคำนวณและแบบของโครงสร้างชั่วคราวที่จะใช้ในงานก่อสร้างดังกล่าว ให้นายช่างผู้ควบคุมงานพิจารณาตรวจสอบเสียก่อน ในกรณีที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควรให้แก้ไขแบบส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของโครงสร้างชั่วคราวนั้น ๆ มิได้เป็นเหตุให้ผู้รับจ้างหมดความรับผิดชอบ ในเมื่อเกิดความเสียหายขึ้นแม้แต่ประการใดทั้งสิ้น

ค้ำยัน นั่งร้าน และโครงสร้างชั่วคราวต่าง ๆ จะต้องออกแบบและก่อสร้างให้มั่นคงแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นในระหว่างงานก่อสร้างได้โดยปลอดภัย การทรุดตัวของค้ำยันและนั่งร้าน และการแอ่นตัวของโครงสร้างชั่วคราว ซึ่งทำหน้าที่เป็นคานจะต้องมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และไม่ทำให้ชิ้นส่วนของโครงสร้างถาวรมีรูปร่าง ขนาด แนวและระดับต่าง ๆ คลาดเคลื่อนไปมากกว่าที่จะยอมให้ได้ ดังนั้นผู้รับจ้างจะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ ในการทำฐานรากเพื่อรับโครงสร้างชั่วคราวต่าง ๆ นี้

ระดับของแบบหล่อคอนกรีตจะต้องเป็นระดับที่แสดงไว้ในแบบบวกระยะแอ่นตัวหรือลบระยะโก่งตัว ที่เกิดจากน้ำหนักของโครงสร้างถาวรและ/หรือแรงอัดเนื่องจากเหล็กเสริมอัดแรง ซึ่งจะได้กำหนดให้หรือระบุไว้ในแบบ และบวกด้วยระยะแอ่นตัวหรือทรุดตัวของโครงสร้างชั่วคราวที่ใช้ยันรับแบบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

ในบางกรณีผู้รับจ้างอาจตั้งค้ำยัน หรือนั่งร้าน บนส่วนของโครงสร้างถาวรที่ก่อสร้างเสร็จแล้วได้ ซึ่งทั้งนี้จะต้องได้รับการเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นลายลักษณ์อักษรเสียก่อน ในการนี้ทางนายช่างผู้ควบคุมงานอาจให้ผู้รับจ้างทำการวิเคราะห์โครงสร้างถาวรดังกล่าวว่าจะรับน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ จากโครงสร้างชั่วคราวนั้นได้หรือไม่ หากผลจากการวิเคราะห์ปรากฏว่าจำเป็นจะต้องเพิ่มเหล็กเสริมของโครงสร้างคอนกรีตถาวรดังกล่าว และนายช่างผู้ควบคุมงานอนุญาตให้ตั้งนั่งร้านหรือค้ำยันบนโครงสร้างถาวรส่วนนั้นได้แล้ว ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้นในการนี้จะต้องเป็นภาระของผู้รับจ้างทั้งสิ้น

5.1.15 งานฐานราก (Foundation)

ฐานราก หมายถึง ส่วนล่างสุดของโครงสร้างทำหน้าที่รับน้ำหนักทั้งหมดของโครงสร้างส่วนที่อยู่ข้างบน แบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับชนิดและชั้นของดินที่รองรับฐานรากนั้นอยู่จัดเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ ฐานรากตื้น (Shallow Foundation) และฐานรากลึก (Deep Foundation) ฐานรากตื้น หมายถึง ฐานรากที่มีความลึกจากระดับดินเท่ากันหรือน้อยกว่าส่วนกว้างของฐานราก ส่วนฐานรากลึก หมายถึง ฐานรากที่มีความลึกจากระดับดินมากกว่าส่วนกว้างของฐานราก

ประเภทของฐานรากที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ ฐานรากแผ่ และฐานรากเสาเข็ม

5.1.15.1 ฐานรากแผ่ (Spread Footing Foundation)

หมายถึง ฐานรากที่ทำหน้าที่บรรทุกน้ำหนักจากเสา หรือกำแพง ลงยังชั้นดินหรือหินซึ่งอยู่ใต้ฐานรากอย่างปลอดภัย ไม่เกินกำลังหรือความสามารถที่ชั้นดินข้างล่างนั้นจะรับได้ ฐานรากแผ่ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อาคารทรุดตัวหรือเอียง และป้องกันไม่ให้แรงลมยกอาคารลอยขึ้นด้วย ระดับของฐานรากควรอยู่ระดับที่เนื้อดินจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือขนาดอีกเนื่องจากน้ำใต้ดิน ก่อนการก่อสร้างฐานรากต้องบดอัดดินให้แน่นและปรับระดับให้เรียบเพื่อให้การถ่ายแรงเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ

ฐานรากแผ่แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

(1) ฐานรากแผ่รับน้ำหนักของอาคารเป็นผืนแผ่นเดียวกัน เรียกว่า ฐานรากแบบแพ (Raft Foundation) หรือฐานรากแบบเสื่อ (Mat Foundation) หรือฐานรากแบบลอย (Floating Foundation)

(2) ฐานรากแผ่รับน้ำหนักของอาคารแบบถ่ายน้ำหนักเป็นแห่ง ได้แก่ ฐานรากแบบแยก (Isolated Footing) ฐานรากตีนเป็ดรองรับเสาอาคารเพียงต้นเดียว ฐานแผ่ร่วม (Combined Footing) เป็นฐานรากรองรับเสากลุ่มหนึ่ง และฐานรากผนัง (Wall Footing) รองรับผนังกำแพงเป็นแถบยาวตลอด

วิธีการก่อสร้าง

(1) ก่อนเริ่มงานก่อสร้างฐานรากแผ่ ผู้รับจ้างต้องดำเนินการทดสอบเพื่อหากำลังแบกทานของดินก่อน โดยให้ทำการทดสอบตาม AASHTO T 235 : "Bearing Capacity of Soil For Static Load on Spread Footings" และเมื่อได้ผลทดสอบแล้ว ให้ใช้กำลังแบกทานของดินไม่เกินครึ่งหนึ่งของผลที่ได้จากการทดสอบ

ในกรณีที่บริเวณที่จะก่อสร้างฐานรากแผ่เป็นหินพืด จะต้องฝังฐานรากให้อยู่ในหินพืดลึกไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร (วัดตรงที่ตื้นที่สุด) และเพื่อให้ทราบแน่ชัดว่าเป็นหินพืดจริงหรือไม่ โดยการพิสูจน์ความต่อเนื่องของหินพืดออกไปจากขอบของฐานรากแผ่ไม่น้อยกว่า 2 เท่าของความกว้างฐานราก และตรวจสอบความหนาโดยการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 25 มิลลิเมตร และลึกไม่น้อยกว่า 2 เมตร โดยฐานรากแผ่หนึ่ง ๆ ต้องเจาะไม่น้อยกว่า 2 รู

(2) คุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ในงานฐานรากแผ่ให้เป็นไปตามข้อ 5.1 คุณสมบัติของเหล็กเสริมให้เป็นไปตามข้อ 5.1.12 และการจัดวางเหล็กเสริมให้เป็นไปตามข้อ 5.1.12.10

(3) แบบหล่อคอนกรีตที่ใช้ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.14.1

(4) ในกรณีที่ฐานรากแผ่มีความหนามาก ผู้รับจ้างต้องเสนอวิธีการและเทคนิคในการเทคอนกรีตให้นายช่างผู้ควบคุมงานตรวจสอบและอนุมัติเป็นลายลักษณ์อักษรก่อน

5.1.15.2 ฐานรากเสาเข็ม (Pile Foundation)

หมายถึง ฐานรากที่ทำหน้าที่บรรทุกน้ำหนักจากเสา หรือกำแพงลงยังชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป โดยการใช้เสาเข็มช่วยรับและถ่ายน้ำหนักบรรทุก

ฐานรากเสาเข็มมีหลายชนิด ที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ (Precast Reinforced Concrete Pile) เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ (Reinforced Prestressed Concrete Pile) เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จแบบแรงเหวี่ยง (Prestressed Spun Concrete Pile)

5.1.15.2.1 เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในแบบ ในกรณีที่แบบไม่ได้ระบุไว้ ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จมาตรฐานเลขที่ มอก. 395 บริเวณก่อสร้างที่เป็นดินอ่อนให้ใช้เสาเข็มชนิดปลายตัด ส่วนบริเวณก่อสร้างที่เป็นดินแข็งให้ใช้เสาเข็มชนิดปลายแหลม

5.1.15.2.2 เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ ในการผลิตและควบคุมคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จมาตรฐานเลขที่ มอก. 396 บริเวณก่อสร้างที่เป็นดินอ่อนให้ใช้เสาเข็มชนิดปลายตัด ส่วนบริเวณก่อสร้างที่เป็นดินแข็งให้ใช้เสาเข็มชนิดปลายแหลม

5.1.15.2.3 เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ แบบแรงเหวี่ยง ในการผลิตและควบคุมคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ แบบแรงเหวี่ยง มาตรฐานเลขที่ มอก. 398 บริเวณก่อสร้างที่เป็นดินอ่อนให้ใช้เสาเข็มชนิดปลายตัด ส่วนบริเวณก่อสร้างที่เป็นดินแข็งให้ใช้เสาเข็มชนิดปลายแหลม

5.1.15.2.4 เสาเข็มเจาะ ในกรณีที่แบบไม่ได้ระบุให้ใช้เสาเข็มเจาะ ผู้รับจ้างอาจใช้ได้โดยต้องได้รับอนุมัติเป็นลายลักษณ์อักษรจากกรมทางหลวงก่อน

เสาเข็มเจาะโดยทั่วไปสามารถจำแนกออกเป็น 2 ชนิดคือ เสาเข็มเจาะขนาดเล็ก และเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่

(1) เสาเข็มเจาะขนาดเล็ก หมายถึง เสาเข็มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 600 มิลลิเมตร

เสาเข็มเจาะชนิดนี้ใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ขนาดเล็กและไม่ยุ่งยากเคลื่อนย้ายสะดวก ไม่ต้องการบริเวณทำงานมากนัก อุปกรณ์หลักประกอบด้วย ขาหยั่งเหล็ก 3 ขา ปลายบนติดรอกเดี่ยว (Tripod) และใช้เครื่องกว้านลมในการเจาะ ยก ดึง หรือถอนปลอกเหล็ก

(2) เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ หมายถึง เสาเข็มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 600 มิลลิเมตรขึ้นไป ซึ่งโดยทั่วไปมีขนาดมาตรฐานคือ 800, 900, 1,000, 1,200 และ 1,500 มิลลิเมตร อุปกรณ์ สำคัญที่ใช้เป็นเครื่องจักรกลขนาดใหญ่

วิธีการทำงานแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

(ก) Wet Process จะใช้กับสภาพดินที่มีชั้นทราย หรือมีน้ำใต้ดิน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ของเหลวเพิ่มแรงดันในหลุมเจาะ เพื่อป้องกันมิให้ผนังหลุมเจาะพัง เช่น สารละลายเบนโทไนท์ (Bentonite) เป็นต้น

(ข) Dry Process ในสภาพดินบางแห่ง เมื่อเจาะแล้วไม่พบน้ำใต้ดินหรือเป็นชั้นทรายอัดตัวแน่น ไม่เกิดการพังทลายของผนังหลุมเจาะ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ของเหลวป้องกันผนังหลุมเจาะ

การทำเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ ให้ปฏิบัติดังนี้

-ก่อนทำงาน ให้ผู้รับจ้างทำการตรวจดูสภาพของดินเดิม และระดับน้ำใต้ดินตลอดความลึกของเสาเข็มเจาะนั้น และต้องขออนุมัติวิธีการเจาะต่อนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นลายลักษณ์อักษรก่อน

-การขุดเจาะ เมื่อได้วางหมุดตำแหน่งเสาเข็มและตรวจสอบตำแหน่งที่แน่นอนได้แล้วก็ทำการขุดดินตามขนาด และความลึกของเข็มที่ต้องการ ช่วงแรกของการขุดเจาะซึ่งส่วนมากเป็นดินอ่อนจะใส่ปลอกเหล็ก (Steel Casing) เพื่อป้องกันดินส่วนบนพัง และใช้หัวขุดเจาะแบบสว่าน (Auger Type)

ถ้าจำเป็นต้องใช้ Wet Process ในส่วนที่อยู่ระดับใต้ปลอกเหล็กก็จะต้องใช้ของเหลวเพิ่มแรงดันในหลุมเจาะเพื่อป้องกันมิให้หลุมเจาะพัง และควรใช้หัวขุดเจาะแบบบุ้งกี๋ (Bucket Type)

-การตรวจความลึกของหลุมที่เจาะแล้ว เมื่อขุดเจาะดินได้ตามต้องการ จะต้องตรวจสอบ ความลึกของเข็ม โดยใช้สายดิ่งวัดความลึกถึงก้นหลุม และตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะด้วยเครื่องมือที่เหมาะสม เช่น DRILL HOLE MONITORING เป็นต้น ตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร ทั้งนี้โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นลายลักษณ์อักษรก่อน

-การเตรียมเหล็กเสริมและการติดตั้ง ตามปกติจะต้องประกอบเหล็กเสริมตามที่ออกแบบไว้ก่อน โดยจัดเป็นชุด ๆ ตามความเหมาะสม และทำความสะอาดให้เรียบร้อยก่อนยกมาใส่ลงในหลุมเจาะตามตำแหน่งของแต่ละท่อนและเมื่อเหล็กเสริมได้ติดตั้งตามตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว ให้จัดแขวนไว้กับปากของปลอกเหล็กเพื่อเตรียมเทคอนกรีตต่อไป

-การเทคอนกรีต การเทคอนกรีตใช้วิธีเทคอนกรีตใต้น้ำ โดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 250 มิลลิเมตร ใส่ลงไปในหลุมเจาะจนเกือบถึงก้นหลุม โดยให้ปลายท่อห่างจากก้นหลุมเพียงเล็กน้อย การเทคอนกรีตจะต้องเทอย่างต่อเนื่องจนเสร็จสิ้นในหนึ่งหลุมเจาะ และในขณะที่ทำการเทคอนกรีตจะต้องมีการวัดตรวจสอบความลึกให้สัมพันธ์กับปริมาณคอนกรีตที่ใช้ตลอดเวลา

-การถอนปลอกเหล็กขึ้น ให้กระทำในขณะที่คอนกรีตยังไม่ก่อตัวด้วยหัวจับยึดแบบสั่น (Vibro Hammer)

ในการทำงานทุกขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นนี้ ให้ผู้รับจ้างจัดทำรายงานเสนอนายช่างผู้ควบคุมงานทุกหลุมเจาะโดยละเอียด

5.1.16 สารยึดอีพ็อกซีเรซินสำหรับคอนกรีต (Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete)

หมายถึง สารผสมที่ทำหน้าที่ยึดหรือประสานวัสดุต่าง ๆ ที่เป็นคอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ อีพ็อกซีเรซิน (Epoxy Resin) และสารบ่ม (Curing Agent) อาจมีตัวเติม (Filler) ในส่วนประกอบใดส่วนประกอบหนึ่ง หรือทั้ง 2 ส่วนประกอบก็ได้

สารยึดอีพ็อกซีเรซินต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สารยึดอีพ็อกซีเรซินสำหรับคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 1026 เนื่องจากสารยึดอีพ็อกซีเรซินไม่สามารถแข็งตัวในสภาพชื้น จึงห้ามให้ยึดผิวหน้าคอนกรีตเดิมที่มีความชื้น และต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นลายลักษณ์อักษรก่อนนำมาใช้งาน

ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้สารยึดอีพ็อกซีสำหรับคอนกรีตในน้ำ ต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักเจ้าของงานเป็นลายลักษณ์อักษรก่อน

5.1.17 วัสดุสำหรับใส่รอยต่อ (Joint Filler, Joint Primer and Joint Sealer)

5.1.17.1 วัสดุอุดรอยต่อชนิดไม่ปลิ้นและยืดหยุ่น (Joint Filler for Concrete, Nonextruding and Resilient Type)

วัสดุที่ใช้อุดรอยต่อชนิดนี้ต้องมีคุณสมบัติตาม ทล.-ก. 301 "ข้อกำหนดของวัสดุสำเร็จรูปอุดรอยต่อเพื่อขยายสำหรับงานคอนกรีต ชนิดไม่ปลิ้นและยืดหยุ่นมีแอสฟัลต์เป็นส่วนประกอบ" และจะต้องเจาะรูให้สอดเหล็กเดือยได้ วัสดุอุดรอยต่อแต่ละแผ่นต้องมีความหนาและความลึกตามที่ระบุไว้ในแบบ

อนุญาตให้ใช้วัสดุอุดรอยต่อตามความยาวได้ตามความจำเป็น โดยรอยต่อต้องต่อกันให้สนิท

5.1.17.2 วัสดุอุดรอยต่อคอนกรีตประเภทยางฟองน้ำและไม้ก๊อก (Concrete-Joint Filler, Sponge Rubber and Cork)

วัสดุที่ใช้อุดรอยต่อชนิดนี้ต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวัสดุอุดรอยต่อประเภทฟองน้ำและไม้ก๊อก มาตรฐานเลขที่ มอก. 1079 วัสดุอุดรอยต่อนี้ทำมาจากยางฟองน้ำหรือไม้ก๊อก มีลักษณะเป็นแผ่นหรือแถบใช้แทรกหรือกั้นตรงรอยต่อเพื่อการขยายตัวของอิฐหรือคอนกรีต แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

(1) ประเภทยางฟองน้ำ (Sponge Rubber)

(2) ประเภทไม้ก๊อก (Cork)

(3) ประเภทไม้ก๊อกขยายตัว (Self-Expanding Cork)

วัสดุอุดรอยต่อประเภทยางฟองน้ำ ทำด้วยยางฟองน้ำแบบยืดหยุ่นที่ได้จากยางสงเคราะห์ และ/หรือยางธรรมชาติ โดยไม่มียางที่ใช้แล้วผสมอยู่

สำหรับวัสดุอุดรอยต่อประเภทไม้ก๊อก และประเภทไม้ก๊อกขยายตัว ทำโดยประสานเม็ดไม้ก๊อกให้ติดกันด้วยการเรซินสังเคราะห์

วัสดุอุดรอยต่อชนิดนี้ก่อนนำมาใช้งานต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นลายลักษณ์อักษรก่อน

5.1.17.3 วัสดุยารอยต่อ (Joint Primer)

วัสดุยารอยต่อ ต้องเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการไหลแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนของคอนกรีตได้สูง เมื่อทดลองทาทับไปบนผิวคอนกรีตจะต้องแห้งภายใน 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และเมื่อนำมอร์คาร์บล๊อกที่ทำด้วยวัสดุยารอยต่อประกบชิ้นทดสอบของวัสดุยาแนวรอยต่อชนิดเทร้อนที่ผ่านการทดสอบคุณภาพว่าใช้ได้แล้วมาดำเนินการทดสอบแรงยึดเหนี่ยว โดยวิธีการทดสอบการยึดเหนี่ยว โดยสมบูรณ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวัสดุยารอยต่อคอนกรีตแบบยืดหยุ่นชนิดเทร้อน มาตรฐาน เลขที่ มอก. 479 โดยอนุโลมแล้วต้องไม่เกิดรอยร้าว (Cracking) หรือการแยกตัว (Separation) หรือร่อง (Opening) อย่างหนึ่งอย่างใดลึกเกินกว่า 6.4 มิลลิเมตร ณ จุดหนึ่งจุดใดระหว่างชิ้นทดสอบกับมอร์ตาร์บล๊อกในระหว่างการทดสอบ

5.1.17.4 วัสดุยารอยต่อคอนกรีตแบบยืดหยุ่นชนิดร้อน (Concrete Joint-Sealer, Hot-Poured Elastic Type)

หมายถึง วัสดุใช้สำหรับยารอยต่อคอนกรีต เพื่อป้องกันการแทรกซึมของความชื้นและสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ มีแอสฟัลต์เป็นส่วนผสม มีสมบัติหยุ่นตัวและเกาะติด สามารถทำให้เหลวโดยการให้ความร้อน และเทลงในรอยต่อได้สม่ำเสมอไม่ขาดตอนหรือเกิดโพรงอากาศ ไม่ไหลออกนอกรอยต่อหรือติดล้อยานพาหนะ

วัสดุอุดรอยต่อชนิดนี้ ต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวัสดุยารอยต่อคอนกรีตแบบยืดหยุ่นชนิดเทร้อน มาตรฐานเลขที่ มอก. 479 และต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นลายลักษณ์อักษรก่อนนำมาใช้งาน

5.1.17.5 วัสดุยารอยต่อคอนกรีตชนิดเย็น (Concrete Joint Sealer, Cold-Application Type)

หมายถึง วัสดุผสมเสร็จที่มีแอสฟัลต์เป็นส่วนผสม ใช้ที่อุณหภูมิปรกติโดยไม่ต้องให้ความร้อนสำหรับยารอยต่อคอนกรีต เพื่อป้องกันการแทรกซึมของความชื้นและสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ มีคุณสมบัติยืดหยุ่นและเกาะติด เมื่อยารอยต่อคอนกรีตแล้วไม่ไหลออกนอกรอยต่อหรือติดล้อยานพาหนะ

วัสดุยารอยต่อคอนกรีตชนิดเย็นนี้ใช้สำหรับยารอยต่อคอนกรีตที่มีความกว้างไม่น้อยกว่า 13 มิลลิเมตร และต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวัสดุยารอยต่อคอนกรีตชนิดเย็น มาตรฐานเลขที่ มอก. 917

ก่อนนำวัสดุยารอยต่อชนิดนี้ไปใช้งานต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน เป็นลายลักษณ์อักษรก่อน

5.2 งานสะพานคอนกรีต

5.2.1 ก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้างสะพานให้นายช่างผู้ควบคุมงานดำเนินการดังนี้

5.2.1.1 ทำการตรวจสอบ Plan และ Profile ของถนนตามสภาพปัจจุบัน พร้อมทั้งทำ Profile ในสนามออกไปจากคอสะพานข้างละไม่น้อยกว่า 300 เมตร

5.2.1.2 ทำรูปตัด (Cross Section) ของลำน้ำจำนวนอย่างน้อย 3 แห่ง โดยแห่งแรกให้อยู่บริเวณแนวสะพานทุกสะพาน และอีกอย่างน้อย 2 แห่งให้ห่างออกไปจากบริเวณสะพานทั้งด้านซ้ายและด้านขวา ด้านละประมาณ 50 เมตร แล้วนำมาหาแนวร่องน้ำที่ถูกต้อง เพื่อพิจารณาตำแหน่งและขนาดของสะพานที่เหมาะสม

5.2.1.3 ในกรณีที่สะพานมีมุมเฉียง (Skew Angle) ไม่ตรงกับแบบ หรือสะพานอยู่บริเวณคุ้งน้ำ ซึ่งอาจมีการกัดเซาะเกิดขึ้น และในแบบไม่ได้แสดงวิธีการป้องกันการกัดเซาะไว้ ให้พิจารณาหาวิธีแก้ไข

5.2.1.4 ตรวจสอบค่าระดับที่จะใช้ในการก่อสร้าง ให้ถ่ายระดับจากหมุดหลักฐานมาไว้ในบริเวณก่อสร้างในกรณีที่มีหมุดหลักฐานหลายหมุด จะต้องตรวจระดับและหาความสัมพันธ์ของหมุดต่าง ๆ เหล่านี้และปรับค่าระดับให้เข้ากันได้

5.2.1.5 ให้ตรวจสอบเขตทางในสนาม โดยดำเนินการร่วมกับแขวงฯ ให้ถูกต้อง และวางแนวศูนย์กลางสะพานให้ถูกต้องตามแบบ

5.2.1.6 นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นมาเปรียบเทียบกับแบบ โดยพิจารณาเกี่ยวกับระดับหลังสะพาน, ความยาวของสะพาน, ระดับน้ำสูงสุด, ระดับน้ำต่ำสุด, ช่องลอด, มุมเฉียง, การกัดเซาะ, ขนาดช่องของสะพาน และตำแหน่งของตอม่อแต่ละตับ ว่าเหมาะสมหรือไม่ ถ้าเห็นว่าไม่เหมาะสม เช่น สั้นเกินไป ช่องลอดไม่เหมาะสม เป็นต้น ให้นายช่างผู้ควบคุมงานปรับให้เหมาะสมกับสภาพจริงในสนามได้ และถ้ามีความแตกต่างในสาระสำคัญอย่างมาก ให้รายงานกองเจ้าสังกัด

5.2.1.7 ให้ผู้รับจ้างติดตั้งเครื่องหมายควบคุมการจราจรในระหว่างการก่อสร้างตามแบบมาตรฐานการก่อสร้างกรมทางหลวง

5.2.1.8 ในกรณีที่สะพานสร้างอยู่ในแนวทางที่เปิดการจราจรแล้ว การสั่งให้ผู้รับจ้างสร้างสะพานเบี่ยงหรือทางเบี่ยง เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่การจราจรตามสัญญาให้ปฏิบัติดังต่อไปนี้

(1) ในกรณีที่กรมทางหลวงมิได้เป็นผู้ออกแบบสะพานเบี่ยงให้ผู้รับจ้างจะต้องเป็นผู้ออกแบบสะพานเบี่ยงเอง และรับผิดชอบมิให้เกิดความเสียหายใด ๆ จากสะพานเบี่ยงเหล่านี้ทั้งหมด ดังนั้นก่อนที่จะทำการก่อสร้างสะพานเบี่ยง ให้ผู้รับจ้างส่งแบบก่อสร้างสะพานเบี่ยงที่มีวิศวกรออกแบบลงนามที่จะใช้ในการก่อสร้าง มาให้นายช่างผู้ควบคุมงานพิจารณา และหากให้แก้ไขส่วนหนึ่งส่วนใดหรือทั้งหมดของสะพานเบี่ยงนั้น ๆ แล้ว ผู้รับจ้างจะต้องจัดการแก้ไขตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร อนึ่งการแก้ไขดังกล่าว มิได้ทำให้ความรับผิดชอบของผู้รับจ้างต่อความเสียหายใดๆ ที่เกิดจากสะพานเบี่ยงนั้นน้อยลงไปแต่อย่างใด และในการคำนวณและออกแบบสะพานเบี่ยง ผู้รับจ้างจะต้องออกแบบให้รับน้ำหนักของรถบรรทุกขนาดไม่น้อยกว่า HS 20 หรือตามที่กรมทางหลวงได้กำหนดตามความจำเป็น

(2) ก่อนปิดการจราจรบนเส้นทางเดิม เพื่อเปิดใช้สะพานเบี่ยงหรือทางเบี่ยง ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักทางหลวง และแขวงการทางก่อน

(3) มาตรฐานผิวจราจรของทางเบี่ยง ต้องมีมาตรฐานไม่น้อยกว่ามาตรฐานผิวจราจรที่ใช้งานของทางในบริเวณนั้น ๆ ยกเว้นผิวจราจรคอนกรีต ให้ใช้ผิวจราจรแอสฟัลต์แทนตลอดเวลาใช้งาน

(4) ผู้รับจ้างต้องเป็นผู้ดูแล ตรวจสอบ และบำรุงรักษา สะพานเบี่ยงทางเบี่ยงให้อยู่ในสภาพที่ดีและปลอดภัยตามที่กำหนดตลอดเวลาใช้งาน

5.2.1.9 วัสดุก่อสร้างที่ผู้รับจ้างนำมาใช้ในงานก่อสร้าง ให้เก็บตัวอย่างแล้วนำไปทดลอง เพื่อตรวจสอบคุณภาพ (วิธีเก็บและปริมาณของตัวอย่าง จะต้องเป็นไปตามข้อ 5.1)

5.2.1.10 ตรวจสอบปริมาณของวัสดุก่อสร้างว่า พอเพียงและทันต่อความต้องการของงานหรือไม่ ห้ามผู้รับจ้างนำวัสดุก่อสร้างไปใช้งานก่อนได้รับแจ้งผลของการทดลองว่าใช้ได้

5.2.1.11 ตรวจสอบสภาพ จำนวนและชนิดของเครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้ในการก่อสร้างรวมทั้งจำนวนแรงงานว่ามีเพียงพอต่อความต้องการของงานหรือไม่

5.2.1.12 เมื่อผู้รับจ้างจะดำเนินการรื้อสะพานเดิม ให้นายช่างผู้ควบคุมงานตรวจสอบชิ้นส่วนโครงสร้างเดิมที่สามารถนำไปใช้งานได้ และให้ทำบัญชีและส่งมอบให้แขวงฯ อย่าให้ผู้รับจ้างนำไปใช้งานเป็นอันขาด เว้นแต่จะระบุเป็นอย่างอื่นในสัญญา

5.2.1.13 ให้ทำหลักฐานตำแหน่งตอม่อทุกตับ พร้อมระดับหลังสะพานระหว่างการก่อสร้าง เพื่อสะดวกในการตรวจสอบ

5.2.2 **การดำเนินงานฐานราก**

ก่อนเริ่มดำเนินการให้ผู้รับจ้างสำรวจและศึกษาทางด้านธรณีวิทยาและอื่นๆ ที่จำเป็น แล้วกำหนดประเภทของฐานรากที่เหมาะสมตามความเห็นชอบของนายช่างผู้ควบคุมงาน

5.2.2.1 ฐานแผ่ (Spread Footing)

เหมาะสำหรับดินแข็ง ดินปนกรวด หรือหินผุ

(1) ให้ดำเนินการตามข้อ 5.1.15.1

(2) พื้นดินใต้ฐานรากจะต้องทานน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่าที่กำหนดในแบบ ซึ่งนายช่างควบคุมงานเห็นชอบเป็นลายลักษณ์อักษรก่อนที่จะดำเนินงานต่อไป

(3) ระดับฐานรากกลางน้ำต้องฝังลึกจากท้องคลองอย่างน้อย 2.50 เมตร หรือเท่าที่กำหนดไว้ในแบบ สำหรับตอม่อริมฝั่งต้องพยายามฝังให้ระดับฐานรากลึกใกล้เคียงกับตอม่อกลางน้ำที่อยู่ติดกัน เพื่อให้พ้นการกัดเซาะของกระแสน้ำในอนาคต

(4) ในกรณีที่ผู้รับจ้างไม่สามารถที่จะขุดดินถึงระดับที่กำหนดได้ ให้รายงานเหตุผลไปยังกองเจ้าของงาน ในกรณีที่เห็นว่าจะต้องทำการทดลองน้ำหนักตามรายการในสัญญาผู้รับจ้างจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น

(5) ให้แสดงลักษณะดินแต่ละชั้นของหลุมฐานรากทุกตับที่ตรวจพบในการก่อสร้าง

(6) ให้จดระดับฐานรากที่ก่อสร้างแล้วเสร็จทุกตับลงในแบบก่อสร้าง

5.2.2.2 ฐานรากชนิดใช้เสาตอก (Driving Pile)

เหมาะสำหรับดินอ่อน และหรือสภาพของท้องที่ไม่เหมาะสมที่จะทำฐานแผ่ ฯลฯ เช่น น้ำลึก น้ำขังสูบไม่แห้ง

(1) ให้ดำเนินการตามข้อ 5.1.15.2.1, 5.1.15.2.2 และ 5.1.15.2.3

(2) น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่คำนวณได้จากผลการตอกเสาเข็มตามสูตรที่กรมทางหลวงกำหนดใช้ จะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบ และผู้รับจ้างต้องเสนอบัญชีตอกเสาเข็มทุกต้น ซึ่งแสดงรายละเอียดต่าง ๆ ให้แก่นายช่างผู้ควบคุมงานเพื่อตรวจสอบก่อนที่จะทำการก่อสร้างสะพานต่อไป

กรณีที่ผลการตอกเสาเข็มไม่เป็นไปตามที่กำหนด ผู้รับจ้างอาจร้องขอให้มีการทดลองการรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็ม (Pile Load Test) โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นลายลักษณ์อักษรก่อน และเสาเข็มต้นนั้น ๆ ต้องรับน้ำหนักบรรทุกได้ไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบ

(3) กรณีที่ผู้รับจ้างตอกเสาเข็มโดยใช้วิธีลูกตุ้มปล่อยตก (Drop-Hammer) ต้องใช้ลูกตุ้มหนักไม่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเสาเข็มที่จะตอก และลูกตุ้มนั้นต้องหนักไม่น้อยกว่า 3.5 ตันด้วย

หากผู้รับจ้างจะตอกเสาเข็มโดยใช้วิธีอื่นๆ จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ในตารางที่ 5.2-1

(4) เสาเข็มที่ตอกจนรับน้ำหนักได้ตามที่กำหนดแล้ว ต้องมีส่วนของเสาเข็ม จมลงดินเดิมไม่น้อยกว่า 1 ใน 3 ของความยาวจากปลายเสาเข็มถึงท้องคานตอม่อ และต้องไม่น้อยกว่า 3.50 เมตร

(5) การตอกเสาเข็มต้องตอกให้ตรงตามตำแหน่งที่ระบุไว้ในแบบ หากมีการเยื้องศูนย์ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิเมตร และระยะระหว่างเสาเข็มสองต้นที่อยู่ติดกันจะแตกต่างจากที่กำหนดในแบบไม่เกิน 150 มิลลิเมตร ถ้าเกินกว่านี้ให้รายงานกองเจ้าของงาน

(6) การตอกเสาเข็มต้นหนึ่ง ต้องตอกต่อเนื่องให้เสร็จหากมีอุปสรรคใด ๆ เกิดขึ้นทำให้ต้องหยุด ต้องแก้ไขให้เร็วที่สุด และตอกเสาต่อไปให้แล้วเสร็จ

(7) ห้ามนำเสาเข็ม ค.ส.ล. ที่มีรอยแตกร้าวไปทำการตอกเป็นอันขาด

(8) เมื่อเสาเข็มต้นที่ดำเนินการตอกอยู่มีความยาวไม่เพียงพอ ผู้รับจ้างต้องทำการหล่อเสาเข็มต้นนั้น ๆ ให้ยาวขึ้นตามที่ระบุไว้ในแบบ เมื่อส่วนที่หล่อใหม่แข็งแรงเพียงพอแล้วให้ดำเนินการตอกเสาเข็มต้นนั้นต่อ ทั้งนี้โดยค่อย ๆ ตอกลงไปเบา ๆ ก่อน

ตารางที่ 5.2-1 ข้อกำหนดของประสิทธิภาพต่ำสุดสำหรับเครื่องตอกเสาเข็มชนิดต่างๆ นอกเหนือจากวิธีใช้ลูกตุ้มปล่อยตก

ชนิดของการตอก	ค่าต่ำสุดของน้ำหนักลูกตุ้ม (ตัน)	ค่าสูงสุดของระยะยก (เมตร)	อัตราพลังงานที่ใช้ (กก.-ม.)
1. Air/Steam Hammer (Single Action)	3.50	1.00	3,500
2. Air/Steam Hammer (Double Action)	3.50	0.50	3,500
3. Diesel Hammer (Single Action)	1.35	2.60	3,500
4. Diesel Hammer (Double Action)	1.50	-	3,500
5. Steam Hammer (Differential Action)	6.35	0.40	4,900
6. Hydraulic Hammer	1.50	3.30	3,700

จนสังเกตเห็นว่าเสาเข็มเริ่มจมเพิ่มลงไปแล้วจึงดำเนินการตอกเสาเข็มตามปรกติต่อไปจนแล้วเสร็จ

(9) ขณะตอกเสาเข็ม ถ้าปรากฏว่า มีรอยแตกร้าวหรือเสาเข็มหักด้วยเหตุประการใด ๆ ก็ตาม ผู้รับจ้างต้องถอนเสาเข็มต้นนั้นออก และตอกเสาเข็มต้นใหม่ทดแทน หากไม่สามารถ ถอนเสาเข็มออกได้ ให้รายงานกองเจ้าของงาน

(10) บันทึกระดับปลายเสาเข็มลงในแบบก่อสร้างสะพานเมื่อตอกเสาเข็มเสร็จเรียบร้อยแล้ว

5.2.2.3 ฐานรากชนิดใช้เสาเข็มเจาะ

ให้ใช้ในกรณีที่กำหนดไว้ในแบบ หรือไม่สามารถใช้ฐานรากชนิดใช้เสาตอกได้ และให้ดำเนินการตามข้อ 5.1.15.2.4 ทั้งนี้โดยต้องใส่เหล็กเสริมอย่างน้อย 1 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าตัด และยาวตลอดความยาวของเสาเข็ม และต้องเสนอรูปแบบและรายการคำนวณให้สำนักสำรวจและออกแบบเห็นชอบเป็นลายลักษณ์อักษรก่อน

5.2.3 งานตอม่อ, คาน, พื้น และโครงสร้างอื่น ๆ ของสะพานคอนกรีต

ก่อนเริ่มงานก่อสร้างตอม่อ ให้ดำเนินการตรวจสอบระยะช่วง (Span) ของตอม่อทุกตับและระยะห่างของเสาแต่ละต้นในตอม่อ หากผิดพลาดให้ดำเนินการแก้ไขให้ถูกต้องตามแบบ หรือหากสุดวิสัยที่จะแก้ไขได้ ให้นายช่างผู้ควบคุมงานรายงานสำนักสำรวจและออกแบบ

ก่อนเริ่มงานก่อสร้างคาน ให้ดำเนินการตรวจสอบขนาดและระดับของคานรับพื้น (Cap Beam) และคานยึดเสา (Bracing) ให้ถูกต้องตามแบบ

ก่อนเริ่มงานพื้น ให้ดำเนินการตรวจสอบระดับและตำแหน่งของระบบระบายน้ำบนพื้นสะพานและใต้สะพานให้เหมาะสมกับสภาพในแต่ละพื้นที่

5.2.3.1 ส่วนผสมคอนกรีตสำหรับชิ้นส่วนต่าง ๆ ของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กให้เป็นไปตามข้อ 5.1.3, 5.1.4 และ 5.1.5

5.2.3.2 การผสมคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.6

5.2.3.3 การขนส่งคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.8

5.2.3.4 การเทคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.9

5.2.3.5 การทำให้คอนกรีตแน่น ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.10

5.2.3.6 การบ่มคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.11

5.2.3.7 งานเหล็กเสริมธรรมดา ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.12

5.2.3.8 งานเหล็กเสริมสำหรับคอนกรีตอัดแรง ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.13

5.2.3.9 แบบหล่อคอนกรีต, ค้ำยัน, นั่งร้าน และโครงสร้างชั่วคราว ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.14

5.2.3.10 กรณีที่ใช้สารยึดอีพ็อกซีเรซินสำหรับคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อ5.1.16

5.2.3.11 กรณีที่ใช้วัสดุสำหรับใส่รอยต่อ ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.17

5.2.4 งานแผ่นยางรองรับพื้นสะพานตามแนวคาน **(ELASTOMERIC BEARING PAD)**

คุณสมบัติและมิติต่าง ๆ ของแผ่นยางให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบหรือตามที่ผู้รับจ้างได้ออกแบบตามมาตรฐาน BS หรือมาตรฐาน AASHTO ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดจนกระทั่งได้รับความเห็นชอบจากสำนักสำรวจและออกแบบ

ส่วนการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีให้เป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

5.2.4.1 ค่าความแข็ง (Hardness) ให้ทดสอบตามมาตรฐาน BS 903: Part A26 (Method N) หรือมาตรฐาน ISO 48 “Rubber, Vulcanized or Thermoplastic-Determination of Hardness (Hardness between 10 IRHD and 100 IRHD) หรือมาตรฐาน

ASTM D 2240 "Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness" ทั้งนี้โดยค่าความแข็งที่ได้จากการทดสอบต้องต่างจากค่าที่กำหนดไว้ไม่เกิน 5

5.2.4.2 ค่าความต้านแรงดึง (Tensile Strength) และการยืดตัวประลัย (Elongation at Break or Ultimate Elongation) ให้ทดสอบตามมาตรฐาน BS 903: Part A2 Using Dumb-Bell Test Pieces หรือมาตรฐาน ASTM D412 "Standard Test Method for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Rubber and Thermoplastic Elastomes-Tension" ทั้งนี้โดยค่าของความต้านแรงดึงที่ได้จากการทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 15.5 เมกาปาสกาล และการยืดตัวประลัยที่ได้จากการทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 400 เปอร์เซ็นต์

5.2.4.3 ค่าความทนทานต่อความร้อน (Heat Resistance) ให้ทดสอบตามมาตรฐาน BS 903: Part A19 (Method A or B) หรือมาตรฐาน ASTM D57 "Standard Test Method for Rubber-Deterioration in an Air Oven" ทั้งนี้โดยค่าที่ได้จากการทดสอบต้องเป็นไปตามที่กำหนดดังนี้

(1) ค่าการเปลี่ยนแปลงความแข็งต้องไม่เกิน 10 IRHD

(2) ค่าการเปลี่ยนแปลงของความต้านแรงดึงต้องไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์

(3) ค่าการเปลี่ยนแปลงของการยืดตัวประลัยต้องไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์

5.2.4.4 ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression Set) ให้ทดสอบตามมาตรฐาน BS 903: Part A6 หรือมาตรฐาน ASTM D 395 "Standard Test Methods for Rubber Property-Compression Set" ทั้งนี้โดยค่าที่ได้จากการทดสอบต้องไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์

5.2.4.5 ค่าความต้านทานต่อโอโซน (Ozone Resistance) ให้ทดสอบตามมาตรฐาน BS 903:PART A43 หรือมาตรฐาน ASTM D 1149 "Standard Test Method for Rubber Deterioration-Surface Ozone Cracking in a Chamber" โดยใช้โอโซน 25 PPHM ของปริมาตรอากาศ,อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ 30 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส, ค่าความยืดตัว 20 เปอร์เซ็นต์ และเวลาที่ใช้ทดสอบ 96 ชั่วโมง ภายหลังการทดสอบแล้วชิ้นงานตัวอย่างต้องไม่มีรอยร้าว

5.2.4.6 ค่าความต้านแรงยึดเหนี่ยวในช่วงยางแข็งตัว (Bond of Elastomer during vulcanization) ให้ทดสอบตามมาตรฐาน BS 903 : Part A21 (Method B) ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 7 นิวตันต่อความกว้าง 1 มิลลิเมตร (เฉพาะแผ่นยางแบบมีวัสดุเสริมแรง)

5.2.4.7 กรณีที่ใช้แผ่นเหล็กเสริม (Steel Laminate) แผ่นเหล็กที่ใช้ต้องทำมาจากแผ่นเหล็กม้วน (Rolled Mild Steel) ตามมาตรฐาน BS 4360 GRADE 43 A หรือมาตรฐาน ASTM A 36 และ A 570 หรือมาตรฐาน JIS G 3101 GRADE SS-41 และมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ค่าหน่วยแรงดึงที่จุดคลาก ต้องไม่น้อยกว่า 245 เมกาปาสกาล

(2) ค่าหน่วยแรงดึงประลัย ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 410 ถึง 520 เมกาปาสกาล

(3) ค่าการยืดตัวประลัย ต้องไม่น้อยกว่า 21 เปอร์เซ็นต์

5.2.4.8 วัตถุดิบที่ใช้ทำแผ่นยางต้องเป็นสารจำพวก Neoprene บริสุทธิ์ (Polychloroprene) หรือยางธรรมชาติ (Polyisoprene) เท่านั้น

5.2.4.9 แผ่นยางที่ใช้ต้องผลิตตามมาตรฐาน BS 5400 : Section 9.2 "Specification for Materials, Manufacture and Installation of Bridge Bearings" หรือมาตรฐาน ASTM D4014 "Standard Specification for Plain and Steel-Laminated Elastomeric Bearings for Bridge" เท่านั้น

5.2.4.10 การส่งตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ

(1) ขนาดของแผ่นยางตัวอย่าง ให้มีความกว้างและความยาว หรือเส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนาตรงตามที่ระบุไว้ในแบบ กรณีที่แผ่นยางเป็นม้วน หรือแบบไม่ได้ระบุความยาวให้ส่งตัวอย่าง โดยใช้ความยาวเท่ากับ 1 เมตร ต่อ 1 ตัวอย่าง

(2) ให้ทดลองตัวอย่างจากแหล่งผลิต (General Test) โดยให้ผู้รับจ้างส่งตัวอย่าง จำนวน 1 ตัวอย่าง ของแผ่นยางแต่ละชนิด

(3) ให้ผู้รับจ้างนำแผ่นยางชนิดเดียวกับที่ผ่านการทดสอบตามข้อ (1) มากองรวมกันบริเวณหน้างาน แล้วเก็บตัวอย่างจำนวน 1 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนแผ่นยางแต่ละชนิดที่จะใช้งาน แต่ต้องไม่น้อยกว่า 3 ตัวอย่าง เพื่อส่งทดสอบต่อไป (Control Test)

5.2.5 การวัดปริมาณงานและการจ่ายค่างานสำหรับงานสะพานคอนกรีต

5.2.5.1 วิธีการวัดปริมาณงาน

การคิดปริมาณงานในแต่ละส่วนของงานสะพาน ให้คิดจากปริมาณงานรวมของสะพานแต่ละแห่งดังนี้

5.2.5.1.1 สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

(1)	งานฐานรากแล้วเสร็จ	20 เปอร์เซ็นต์
(2)	งานตอม่อแล้วเสร็จ	25 เปอร์เซ็นต์
(3)	งานพื้นสะพานแล้วเสร็จ	40 เปอร์เซ็นต์
(4)	งานทางเท้า ราวและขอบสะพาน รวมทั้งงานอื่นๆ ที่เหลือแล้วเสร็จ	15 เปอร์เซ็นต์
	รวม	100 เปอร์เซ็นต์

5.2.5.1.2 สะพานคอนกรีตอัดแรง

(1)	งานฐานรากแล้วเสร็จ	20	เปอร์เซ็นต์
(2)	งานตอม่อแล้วเสร็จ	25	เปอร์เซ็นต์
(3)	หล่อคานคอนกรีตอัดแรงแล้วเสร็จเรียบร้อยและนำมาไว้ที่ ณ บริเวณที่จะก่อสร้างสะพานนั้น	15	เปอร์เซ็นต์
(4)	วางคาน และก่อสร้างพื้นสะพานแล้วเสร็จ	25	เปอร์เซ็นต์
(5)	งานทางเท้า ราวและขอบสะพาน รวมทั้งงานอื่นๆ ที่เหลือแล้วเสร็จ	15	เปอร์เซ็นต์
	รวม	100	เปอร์เซ็นต์

5.2.5.1.3 สะพานคอนกรีตอัดแรงและสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กรวมอยู่ในสะพานเดียวกัน

(1)	งานฐานรากแล้วเสร็จ	20	เปอร์เซ็นต์
(2)	งานตอม่อแล้วเสร็จ	25	เปอร์เซ็นต์
(3)	หล่อคานคอนกรีตอัดแรงแล้วเสร็จเรียบร้อยและนำมาไว้ที่ ณ บริเวณที่จะก่อสร้างสะพานนั้น	10	เปอร์เซ็นต์
(4)	วางคานคอนกรีตอัดแรงและก่อสร้างพื้นสะพานแล้วเสร็จ = $\frac{30 \times \text{ความยาวเฉพาะส่วนที่เป็นคอนกรีตอัดแรง}}{\text{ความยาวของสะพานทั้งหมด}}$ =.....เปอร์เซ็นต์		
(5)	งานพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กแล้วเสร็จ =$\frac{30 \times \text{ความยาวเฉพาะส่วนที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก}}{\text{ความยาวของสะพานทั้งหมด}}$=.....เปอร์เซ็นต์		
(6)	งานทางเท้า ราวและขอบสะพาน รวมทั้งงานอื่นๆ ที่เหลือแล้วเสร็จ	15	เปอร์เซ็นต์
	รวม	100	เปอร์เซ็นต์

5.2.5.1.4 งาน Bridge Approach Structure

(1)	หล่อเสาเข็มพร้อมตอก	20	เปอร์เซ็นต์
(2)	ก่อสร้างคานคอดินแล้วเสร็จ	20	เปอร์เซ็นต์
(3)	ก่อสร้างเสาและกำแพงแล้วเสร็จ	20	เปอร์เซ็นต์
(4)	ก่อสร้างพื้นแล้วเสร็จ	25	เปอร์เซ็นต์
(4)	ก่อสร้างราวและขอบสะพานและงานอื่นๆ ที่เหลือแล้วเสร็จ	15	เปอร์เซ็นต์
	รวม	100	เปอร์เซ็นต์

5.2.5.1.5 การวัดปริมาณงานในส่วนต่าง ๆ ของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อคิดผลงานที่แล้วเสร็จจริงของแต่ละเดือน ให้เป็นไปดังนี้

(1) เสาเข็ม หน่วยเป็นต้นหรือฐานแผ่หน่วยเป็นชุด

(2) ตอม่อ หน่วยเป็นตับ

(3) คาน หน่วยเป็นคาน

(4) พื้น หน่วยเป็นเมตรหรือตารางเมตร

ถ้าตอม่อแต่ละตับมีขนาดแตกต่างกันมาก ให้คำนวณปริมาณงานเป็นสัดส่วนของตอม่อทั้งหมด และถ้าคานแต่ละคานมีขนาดแตกต่างกันมาก ให้คำนวณปริมาณงานเป็นสัดส่วนของคานทั้งหมด

5.2.5.1.6 หากมีความจำเป็นในการก่อสร้างอันเนื่องมาจากการจัดการด้านการจราจร หรือเหตุสุดวิสัยอื่นใด ทำให้ไม่สามารถก่อสร้างเป็นขั้นตอนปกติได้ ให้วัดปริมาณงานตามการก่อสร้างจริงเป็นสัดส่วนกับการคิดปริมาณงานตามข้อ 5.2.5.1.5

5.2.5.2 วิธีการจ่ายค่างาน

5.2.5.2.1 การจ่ายค่างานตามข้อ 5.2.5.1 หมายรวมถึงค่าวัสดุ ค่าเครื่องจักร ค่าแรงงาน และอื่น ๆ ที่จำเป็นเพื่อการก่อสร้างให้ถูกต้องเรียบร้อยตามข้อกำหนด โดยคิดจ่ายค่างานตามผลงานที่แล้วเสร็จแต่ละงวดในราคาต่อหน่วยตามสัญญา

5.2.5.2.2 การจ่ายค่างานงวดสุดท้ายตามข้อ 5.2.5.1 นั้น ผู้รับจ้างต้องทำการรื้อถอนแบบหล่อ, ค้ำยัน, นั่งร้าน, โครงสร้างชั่วคราวต่าง ๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างออกให้หมด, ทำความสะอาดโครงสร้างต่าง ๆ ของสะพานทั้งหมดให้เรียบร้อย รวมทั้งการปรับแต่งทางน้ำและกำจัดเศษวัสดุเมื่องานแล้วเสร็จ (Final Clean-up)

5.3 งานท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก (R.C. BOX CULVERT)

คุณลักษณะและมิติต่าง ๆ ของท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

5.3.1 การดำเนินงานฐานราก

ก่อนเริ่มดำเนินงานฐานรากให้ผู้รับจ้างสำรวจและศึกษาทางด้านธรณีวิทยาและอื่นๆ ที่จำเป็น แล้วกำหนดประเภทของฐานรากที่เหมาะสมตามความเห็นชอบของนายช่างผู้ควบคุมงาน

5.3.1.1 กรณีไม่ใช้เสาเข็มผู้รับจ้างต้องขุดเลนทิ้งจนถึงดินแข็งแล้วใส่กรวดปนทราย หรือทรายหยาบ หรือวัสดุมวลรวม (Soil Aggregate) แทน และบดทับให้แน่น โดยมีความหนาตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นชอบ ปรับระดับพื้นรองรับท่อให้เรียบร้อย ทำรองพื้นเพื่อวางท่อให้แนบสนิทแล้วเทคอนกรีตหยาบให้ได้ความหนาตามที่ระบุไว้ในแบบ กรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ในแบบให้ใช้ความหนาอย่างน้อย 100 มิลลิเมตร โดยมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1:3:6 โดยปริมาตร

5.3.1.2 กรณีใช้เสาเข็ม ซึ่งจะใช้ในกรณีที่ท้องคลองเป็นดินอ่อนมาก หรือเป็นดินเลนลึก ให้ผู้รับจ้างทำฐานรากชนิดใช้เสาเข็มตามความเห็นชอบของนายช่างผู้ควบคุมงาน

5.3.2 งานโครงสร้างของท่อเหลี่ยม

5.3.2.1 ส่วนผสมคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.3, 5.1.4 และ 5.1.5

5.3.2.2 การผสมคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.6

5.3.2.3 การขนส่งคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.8

5.3.2.4 การเทคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.9

5.3.2.5 การทำให้คอนกรีตแน่น ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.10

5.3.2.6 การบ่มคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.11

5.3.2.7 งานเหล็กเสริมธรรมดา ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.12

5.3.2.8 งานเหล็กเสริมสำหรับคอนกรีตอัดแรง ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.13

5.3.2.9 แบบหล่อ, ค้ำยัน, นั่งร้าน และโครงสร้างชั่วคราว ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.14

5.3.2.10 กรณีที่ใช้สารยึดอีพ็อกซีเรซินสำหรับคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.16

5.3.2.11 กรณีที่ใช้วัสดุสำหรับใส่รอยต่อ ให้เป็นไปตามข้อ 5.1.17

5.3.3 การวัดปริมาณงานและการจ่ายค่างานสำหรับงานท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก

5.3.3.1 วิธีการวัดปริมาณงาน

การวัดปริมาณงานท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก ให้คิดจากความยาวตามที่ได้ก่อสร้างจริงตามแบบ ปริมาณงานมีหน่วยเป็นเมตร หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ

5.3.3.2 วิธีการจ่ายค่างาน

5.3.3.2.1 การจ่ายค่างานตามรายการนี้หมายรวมถึง ค่าวัสดุ ค่าเครื่องจักร ค่าแรงงานและอื่น ๆ ที่จำเป็น เพื่อการก่อสร้างให้ถูกต้องเรียบร้อยตามข้อกำหนด โดยคิดจ่ายค่างานตามผลงานที่แล้วเสร็จ ในราคาต่อหน่วยตามสัญญา

5.3.3.2.2 การจ่ายค่างานงวดสุดท้ายนั้น ผู้รับจ้างต้องทำการรื้อถอนแบบหล่อ, ค้ำยัน, นั่งร้าน, โครงสร้างชั่วคราวต่าง ๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างออกให้หมด และทำความสะอาดท่อเหลี่ยม คอนกรีตเสริมเหล็กให้เรียบร้อย รวมทั้งการปรับแต่งทางน้ำและกำจัดเศษวัสดุเมื่องานแล้วเสร็จ (Final Clean-up)

5.4 งานท่อกลมคอนกรีตเสริมเหล็ก (R.C. PIPE CULVERT)

คุณลักษณะและมิติต่าง ๆ ของท่อกลม ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

5.4.1 ผู้รับจ้างต้องทำการหล่อท่อตามแบบมาตรฐานโดยใช้วิธี Placing และ Compacting Concrete ด้วยเครื่องมือแบบ Packer Head หรือ Spun เท่านั้น

5.4.2 ท่อที่ใช้จะต้องผ่านการทดสอบความแข็งแรงของท่อ (External Load-Crushing Strength Test) ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 301/2517 "วิธีการทดลองกำลังรับแรงของท่อระบายน้ำด้วยวิธี Three-edge-bearing" และจำนวนของท่อที่จะทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับงานระบายน้ำ มาตรฐานเลขที่ มอก. 128

5.4.3 ผู้รับจ้างจะต้องบดอัดชั้นดินเดิม ให้เสร็จเรียบร้อยตามที่ระบุไว้ในรายการละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เรื่องงานถมคันทาง (Embankment)

5.4.4 ขุดดินตรงที่จะวางท่อให้ได้ความลึกตามที่ระบุไว้ในแบบ หรือตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานกำหนดให้

5.4.5 การเตรียมพื้นสำหรับรองรับท่อให้ไปตามที่กำหนดไว้ในแบบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ

5.4.5.1 ถ้าดินเดิมเป็นดินอ่อน ให้ใช้ Concrete Cradle Bedding

5.4.5.2 ถ้าดินเดิมเป็นดินแข็งทั่วไป ให้ใช้ Ordinary Bedding

5.4.5.3 ถ้าดินเดิมเป็นหิน ให้ใช้ Bedding for Rock or Unyielding Foundation

5.4.6 การวางท่อให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในแบบก่อสร้าง

5.4.7 เมื่อได้เตรียมพื้นและวางท่อลงไปตามที่กำหนดไว้ในแบบแล้ว ให้ถมดินเป็นชั้น ๆ ชั้นละไม่เกิน 15 เซนติเมตร แต่ละชั้นให้บดทับด้วย Mechanical Tamper หรือ Vibratory Compactor จนได้ระดับและความแน่นตามที่ระบุไว้ในแบบและรายการละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง

5.4.8 การวัดปริมาณงานและการจ่ายค่างานสำหรับงานท่อกลมคอนกรีตเสริมเหล็ก

5.4.8.1 วิธีการวัดปริมาณงาน

การวัดปริมาณงานท่อกลมคอนกรีตเสริมเหล็ก ให้ทำการวัดเมื่อได้ทำการตรวจสอบค่าระดับและความแน่นของการบดทับให้ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ในแบบ ปริมาณงานมีหน่วยเป็นเมตร ของผลรวมเฉพาะความยาวท่อ

5.4.8.2 วิธีการจ่ายค่างาน

5.4.8.2.1 การจ่ายค่างานตามรายการนี้หมายรวมถึง ค่าวัสดุ ค่าเครื่องจักร ค่าแรงงาน และอื่น ๆ ที่จำเป็น เพื่อการก่อสร้างให้ถูกต้องเรียบร้อยตามข้อกำหนด โดยคิดจ่ายค่างานตามผลงานที่แล้วเสร็จ ในราคาต่อหน่วยตามสัญญา

5.4.8.2.2 การจ่ายค่างานงวดสุดท้ายนั้น ผู้รับจ้างต้องทำการรื้อถอนแบบหล่อ, ค้ำยัน, นั่งร้าน, โครงสร้างต่าง ๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างออกให้หมด และทำความสะอาดท่อกลมคอนกรีตเสริมเหล็กให้เรียบร้อย รวมทั้งการปรับแต่งทางน้ำและกำจัดเศษวัสดุเมื่องานแล้วเสร็จ (Final-Clean-up)

พิมพ์ที่ โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด
79 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
โทร. 0-2561-4567 Fax 0-2579-5101
นายโชคดี ออสุวรรณ ผู้พิมพ์ผู้โฆษณา พ.ศ. 2549