คู่มือควบคุมงานก่อสร้างสะพาน และท่อเหลี่ยม คสล.

(HANDBOOK FOR BRIDGE AND BOX CULVERT CONSTRUCTION)

ฉบับปรับปรุงและแก้ไข ครั้งที่ 4

สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

BUREAU OF BRIDGE CONSTRUCTION, DEPARTMENT OF HIGHWAYS

MINISTRY OF TRANSPORT, THAILAND

คำนำ

สำนักก่อสร้างสะพาน รับผิดชอบงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม คสล.ทั้งในส่วนที่ดำเนินการก่อสร้างเอง โดยศูนย์สร้างและบูรณะสะพานทั้ง 4 แห่ง (4 ภูมิภาค) และรับผิดชอบควบคุมการก่อสร้างสะพานโดยการจ้างเหมางานก่อสร้างสะพานมีขั้นตอน วิธีการ และเทคนิคในการก่อสร้างต้องการผู้ควบคุมงานที่มีความรู้และประสบการณ์ เพื่อทำให้สะพานที่ก่อสร้างแล้วเสร็จมีความมั่นคง แข็งแรง และสวยงาม สำนักก่อสร้างสะพานจึงได้จัดทำคู่มือควบคุมงานก่อสร้างสะพานและท่อหลี่ยม คสล. เพื่อเผยแพร่แก่ผู้ที่รับผิดชอบงานก่อสร้างทางของกรมทางหลวง และบุคคลทั่วไปที่สนใจงานก่อสร้างสะพาน เนื้อหาในคู่มือเกี่ยวข้องกับอำนาจและหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้ควบคุมงานก่อสร้างสะพาน เทคนิควิธีการก่อสร้างสะพานเริ่มตั้งแต่ฐานรากจนถึงการก่อสร้างพื้นและราวสะพานแล้วเสร็จ

กรมทางหลวงได้แต่งตั้งคณะกรรมการพิจารณา ปรับปรุง แก้ไข เนื้อหาจากคู่มือควบคุมงานก่อสร้างสะพานและท่อหลี่ยม คสล. ฉบับปรับปรุงและแก้ไข ครั้งที่ 3 และเพิ่มเติมรายละเอียดงานก่อสร้างที่ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เนื้อหามีความทันสมัย สอดคล้องเหมาะสมกับสภาวะโลกในปัจจุบันที่มีวิวัฒนาการทางวิชาการและเทคโนโลยี

กรมทางหลวง หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาบุคลากรของกรมทางหลวง ส่วนราชการอื่น และเอกชน ที่จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือนำพาให้งานก่อสร้างบรรลุวัตถุประสงค์และมีประสิทธิภาพ นำความเจริญสู่ประเทศไทยต่อไป

(นายเทิดศักดิ์ เศรษฐมานพ)
อธิบดีกรมทางหลวง

สารบัญ

เนื้อเรื่อง	หน้า
1. การเริ่มดำเนินงาน	**1**
2. ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก	**3**
2.1. ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่	3
2.2. ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อสำเร็จจากโรงงาน	6
3. สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก	**9**
3.1. การดำเนินงานโครงสร้างส่วนล่าง (Substructures)	9
3.2. การดำเนินงานโครงสร้างส่วนบน (Superstructures)	14
4. สะพานคอนกรีตอัดแรง	**16**
4.1. การดำเนินงานโครงสร้างส่วนล่าง (Substructures)	16
4.2. การดำเนินงานโครงสร้างส่วนบน (Superstructures)	21
5. ทางลอด (Underpass)	**43**
6. โครงสร้างคอสะพาน (Bridge Approach Structure)	**47**
6.1. การดำเนินงานโครงสร้างส่วนล่าง (Substructures)	48
6.2. การดำเนินงานโครงสร้างส่วนบน (Superstructures)	59
7. Bearing Unit	**61**
7.1. การตอกเสาเข็มฐานราก	61
7.2. การดำเนินงานก่อสร้างพื้น	62
7.3. การดำเนินงานก่อสร้างกำแพงกันดินบริเวณ Abutment	62
7.4. การดำเนินงานก่อสร้างกำแพง กรณีสภาพในสนามจำกัดและแบบกำหนด	62
8. กำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน (Reinforced Earth Wall)	**65**
9. งานเบ็ดเตล็ด	**68**
9.1. งานเบ็ดเตล็ดในการก่อสร้างสะพาน	68
9.2. งานตกแต่งรื้อถอน	68
9.3. การรายงานผลงาน	68
9.4. การตรวจรับงานและการจ่ายค่างาน	69
บรรณานุกรม	**71**
ภาคผนวก-ก การก่อสร้างเสาเข็ม	**72**
ภาคผนวก-ข คานคอนกรีตอัดแรง	**96**
ภาคผนวก-ค แผ่นยางรองคาน	**113**
ภาคผนวก-ง การผสม การลำเลียง การเทลงแบบ และการอัดแน่น	**122**
ภาคผนวก-จ แบบหล่อคอนกรีตงานสะพาน	**138**
ภาคผนวก-ฉ การแต่งผิวพื้นสะพานและการติดตั้ง Joint	**160**

คำสั่งกรมทางหลวง

ที่ 116/2547

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการปรับปรุงคู่มือควบคุมการก่อสร้างงานสะพานและท่อเหลี่ยม

ตามคำสั่งกรมทางหลวงที่ จ.3.1/21/2541 ลงวันที่ 20 กรกฎาคม 2541 ได้แต่งตั้งคณะกรรมการปรับปรุงคู่มือการปฏิบัติงานและควบคุมงานก่อสร้างสะพานนั้น

เนื่องจากในโลกปัจจุบันมีวิวัฒนาการทางวิชาการและเทคโนโลยีที่พัฒนาก้าวสู่ความทันสมัยอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น เพื่อให้การควบคุมงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และได้ผลงานที่ถูกต้องตามรูปแบบ มีความมั่นคงแข็งแรงบนพื้นฐานตามหลักวิชาการและเทคโนโลยี เหมาะสมกับสภาวการณ์ปัจจุบัน จึงได้ยกเลิกคำสั่งที่ จ.3.1/21/2541 ลงวันที่ 20 กรกฎาคม 2541 และแต่งตั้งคณะกรรมการเพื่อพิจารณาปรับปรุงแก้ไขเนื้อหาคู่มือควบคุมการก่อสร้างงานสะพานและท่อเหลี่ยม ดังนี้.-

1. องค์ประกอบ

1.1	นายชูศักดิ์	โพชนุกูล	รก.วิศวกรวิชาชีพ 9 วช	ประธานกรรมการ
1.2	นายวิโรจน์	ลัฐิกาวิบูลย์	รก.วิศวกรวิชาชีพ 9 วช	กรรมการ
1.3	นายนิติ	วีศาลพัฒนะสิน	รก.วิศวกรวิชาชีพ 9 วช	กรรมการ
1.4	นายไจอาชว์	เจริญศรี	วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ
1.5	นายประชัน	สุขประสงค์	วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ
1.6	นายวีชัย	กังอุบล	วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ
1.7	นายบัญชา	สุทัยบำรุง	วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ
1.8	นายกมล	หมั่นทำ	วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ
1.9	นายชัยดิษฐ์	ฤทธิ์ฤาชัย	วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ
1.10	นายธิติ	เศรษฐิเวียงภูวบาล	วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ
1.11	นายองไชย	วีระสมัย	รก.วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ
1.12	นายอิทธิวัฒน์	กฤษณะวณิช	รก.วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ

2. อำนาจหน้าที่

2.1 พิจารณาปรับปรุงแก้ไขเนื้อหา และวิธีการปฏิบัติในการควบคุมการก่อสร้างงานสะพานและท่อเหลี่ยมให้เป็นตามหลักวิชาการและสอดคล้องกับเทคโนโลยีสมัยใหม่

2.2 ประธานกรรมการมีอำนาจแต่งตั้งคณะกรรมการหรือคณะทำงานอื่น เพื่อช่วยดำเนินงานดังกล่าวได้ตามความจำเป็นและเหมาะสม

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2547

(นายเทิดศักดิ์ เศรษฐมานพ)

อธิบดีกรมทางหลวง

คู่มือควบคุมงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม คสล.

1. การเริ่มดำเนินงาน

- ศึกษาแบบก่อสร้าง รายการ สัญญา รายละเอียดต่อท้ายสัญญาและแบบรายงานของสำนักเจ้าของงาน
- รายงานตัวต่อ ผส.ทล. แขวงการทางฯ ด้วย จ.1-06 และติดต่อให้ผู้รับจ้าง หรือตัวแทนผู้รับจ้างที่สำนักเจ้าของงานได้อนุมัติแล้วเพื่อขอรับมอบสถานที่ก่อสร้าง
- ตรวจสอบ อาคารสำนักงาน บ้านพัก ยานพาหนะและอุปกรณ์อื่นๆ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของสัญญา
- ตรวจสอบโรงเก็บวัสดุก่อสร้างของผู้รับจ้างให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ
- จัดทำ Plan และ Profile ของถนน และลำน้ำ ตามสภาพความเป็นจริงในสนาม ระยะห่างจากท่อเหลี่ยมที่เหมาะสม และห่างจากคอสะพานข้างละ 300 เมตร เปรียบเทียบรูปตัดของลำน้ำตามสภาพความเป็นจริงกับรูปตัดใน บ. 4.1 หรือ บ. 4.2 หากคลาดเคลื่อนในสาระสำคัญ ให้รายงานสำนักเจ้าของงาน โดยผ่านผู้จัดการโครงการฯ
- สำรวจตำแหน่ง ค่าระดับ หมุดหลักฐาน จัดทำหมุดหลักฐานชั่วคราวไว้ในบริเวณก่อสร้าง ในตำแหน่งที่ไม่ถูกรบกวนได้โดยง่าย ควรมีการตรวจสอบความถูกต้องของหมุดหลักฐาน และปรับแก้โดยวิธีการทำวงรอบ (Close Traverse) อย่างสม่ำเสมอ
- วางแนวศูนย์กลางทาง เขตทาง กำหนดตำแหน่ง ท่อเหลี่ยมและตอม่อสะพาน หากเขตทางคลาดเคลื่อนให้ประสานงานแขวงการทาง กรณีตำแหน่งโครงสร้างคลาดเคลื่อนจากสภาพความเป็นจริงในสนาม ให้รายงานสำนักเจ้าของงาน
- ผู้รับจ้างต้องเสนอแผนการจัดการจราจรในระหว่างการก่อสร้าง พร้อมทั้งจัดทำและติดตั้งเครื่องหมายสัญญาณจราจรให้ถูกต้องครบถ้วนตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวง และเพียงพอที่จะอำนวยความสะดวกปลอดภัยต่อการจราจร
- กรณีที่ผู้รับจ้างต้องก่อสร้างสะพานเบี่ยง หรือทางเบี่ยงเพื่ออำนวยความสะดวกในการจราจรตามสัญญา โดยปฏิบัติดังต่อไปนี้
    - ตรวจสอบสะพานเบี่ยง ทางเบี่ยง ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในสัญญา
    - กรณีที่เห็นสมควรให้ผู้รับจ้างเสนอแบบสะพานเบี่ยงพร้อมรายการคำนวณที่ลงนามรับรองโดยวิศวกร เพื่อพิจารณาตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้าง
    - ห้ามผู้รับจ้างเปิดใช้สะพานเบี่ยง หรือทางเบี่ยงก่อนได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากนายช่างโครงการฯ
- วัสดุก่อสร้างที่ผู้รับจ้างนำมาใช้ในงานก่อสร้าง ให้เก็บตัวอย่างส่งทดลองเพื่อตรวจสอบคุณภาพวิธีการเก็บและปริมาณของตัวอย่าง ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ห้ามผู้รับจ้างนำวัสดุก่อสร้างไปใช้งานก่อนได้รับแจ้งผลของการทดลองว่าใช้ได้
- ตรวจสอบวัสดุก่อสร้างให้มีปริมาณพอเพียงและทันต่อความต้องการใช้งาน

- ตรวจสอบสภาพ จำนวนเครื่องจักร เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้าง จำนวนแรงงานต้องพอเพียงเหมาะสมกับงาน หรือแผนงาน
- ตรวจสอบปริมาณงานจริงในสนามเปรียบเทียบกับปริมาณจริงในสัญญา
- ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
- บันทึกการปฏิบัติงานประจำวันของผู้ควบคุมงานและผู้รับจ้าง จัดทำรายงานสรุปผลการปฏิบัติงาน ประจำสัปดาห์ เสนอต่อคณะกรรมการตรวจการจ้าง
- จัดทำแผนภูมิรายละเอียดโครงการฯ และเอกสารสำหรับการบรรยายสรุป
- ตรวจสอบบุคลากรของผู้รับจ้างให้ถูกต้องตามที่ได้รับอนุมัติจากสำนักเจ้าของงาน และรายงานผลการปฏิบัติงานของผู้รับจ้างต่อสำนักเจ้าของงานเป็นประจำทุกเดือน
- ผู้รับจ้างต้องดำเนินงานด้วยตัวเอง ห้ามโอนงานให้ผู้อื่นรับช่วงไปก่อนได้รับอนุญาต
- ตรวจสอบแรงงาน ให้มีแรงงานสัญชาติไทยไม่น้อยกว่า 75 % ของจำนวนแรงงานทั้งหมด
- ผู้รับจ้างต้องดำเนินงานตามสัญญา โดยต้องเริ่มดำเนินงานภายในกำหนดเวลา นับตั้งแต่วันเริ่มสัญญาดังนี้
    - งานสะพานต้องก่อสร้างฐานรากภายใน 60 วัน
    - งานท่อเหลี่ยมต้องก่อสร้างภายใน 45 วัน
    - ให้ส่งแผนดำเนินงานพร้อมบัญชีเครื่องและอัตรากำลังภายใน 30 วันหลังจากวันลงนามในสัญญา
- กรณีมีการรื้อสะพานเดิม ให้นายช่างผู้ควบคุมงานตรวจสอบและจัดทำบัญชีชิ้นส่วนโครงสร้างเดิมที่สามารถนำไปใช้งานได้ ส่งมอบให้แขวงการทาง ห้ามผู้รับจ้างนำไปใช้งานเป็นอันขาด เว้นแต่จะระบุไว้เป็นอย่างอื่นในสัญญา
- ระหว่างการก่อสร้าง ให้จัดทำป้ายแสดงตำแหน่งและหมายเลขตอม่อสะพานทุกตับ พร้อมแสดงค่าระดับหลังสะพาน ระดับน้ำสูงสุดและความสูงช่องลอด เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบ

2. ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก (R.C. Box Culvert)

ท่อเหลี่ยม คสล. (R.C. Box Culvert) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. ชนิดหล่อในที่ (Cast in situ) ซึ่งมีทั้งแบบท่อเดียว (Single Cell) และแบบท่อตับ (Multiple Cells)
2. ชนิดหล่อสำเร็จรูปจากโรงงาน (Pre-cast Box Culvert) ซึ่งคุณลักษณะและมิติต่างๆ ของท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก (Box Culvert) ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

ก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้าง

- ตรวจสอบรายการก่อสร้าง รายละเอียดสัญญา รายละเอียดต่อท้ายสัญญา
- ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ขนาดและลักษณะของลำน้ำ ข้อมูลทางธรณีวิทยา ค่าระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุด แนวลำน้ำทำมุมกับแนวทาง ความกว้างของเขตทาง ต้องตรวจสอบความหนาดินถมหลังท่อ ขนาดและความยาวของท่อเหลี่ยมให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ

2.1. ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่ (Cast in Place)

2.1.1 การเตรียมงานฐานราก (Bedding)

- สำรวจสภาพดินเดิมบริเวณที่จะก่อสร้าง
- กรณีที่ระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมสูงกว่าระดับทางน้ำไหลให้พิจารณาลดระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมลงโดยมีความหนาดินถมหลังท่อ (Back Fill) เป็นไปตามที่กำหนดไว้ ในแบบมาตรฐานของกรมทางหลวง และไม่ทำให้ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างเปลี่ยนแปลง หากโครงสร้างของท่อเหลี่ยมเปลี่ยนแปลง ให้รายงานสำนักเจ้าของงานก่อนดำเนินการ
- กรณีที่ระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยม ต่ำกว่าระดับทางน้ำไหล ให้พิจารณายกระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมขึ้น โดยมีความหนาดินถมหลังท่อ (Back Fill) เป็นไปตามที่กำหนดไว้ ในแบบมาตรฐานของกรมทางฯ และไม่ทำให้ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างเปลี่ยนแปลง หากดินถมหลังท่อเพิ่มขึ้นจนเป็นเหตุให้จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของท่อเหลี่ยมให้รายงานสำนักเจ้าของงานก่อนดำเนินการ
- กรณีที่ระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมสูงกว่าหรือต่ำกว่าระดับทางน้ำไหลให้พิจารณาปรับระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมให้เหมาะสม
- กำหนดตำแหน่งของท่อเหลี่ยมให้สอดคล้องกับทิศทางการไหลของน้ำทั้งทางด้านที่น้ำไหลเข้า (Inlet) และทางด้านที่น้ำไหลออก (Outlet) ให้เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงในสนาม โดยให้พิจารณาหากมีการก่อสร้างเต็มเขตทางด้วย

- กรณีที่ท่อเหลี่ยมทำมุมกับแนวทาง (Skew) คลาดเคลื่อนกับแบบก่อสร้าง ทำให้มีปริมาณงานเปลี่ยนแปลงให้แจ้งสำนักเจ้าของงานก่อนดำเนินการ
- ปรับระดับพื้นดินรองรับท่อเหลี่ยมให้เรียบร้อยพร้อมเทคอนกรีตหยาบส่วนผสม 1:3:6 โดยปริมาตร ความหนา 10 ซม. เว้นแต่แบบกำหนดเป็นอย่างอื่น
- ถ้าดินใต้ระดับพื้นท่อเหลี่ยมที่เตรียมเทคอนกรีตหยาบเป็นดินอ่อนมากให้ขุดออกแล้วแทนที่ด้วยวัสดุทรายถมให้แข็งแรงพอต่อการเทคอนกรีตหยาบรองพื้น

2.1.2 การดำเนินงานโครงสร้าง

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม การใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้ ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion) ความสะอาด ของหินหรือกรวด และทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบแบบหล่อให้ได้ ขนาด ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ มีความแข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้
- ตรวจชนิด ขนาด จำนวน ระยะห่าง ระยะทาบ ตำแหน่งการทาบ ความสะอาด ไม่มีสนิมขุม ของเหล็กเสริม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและข้อกำหนด
- ตรวจระยะหุ้มคอนกรีต (Covering) ให้ตรงตามข้อกำหนด เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง (Bar Chair) รองรับให้แข็งแรงไม่ทรุด
- ตรวจตำแหน่ง ขนาดเหล็ก Dowel และช่องเจาะต่างๆ ให้ครบถ้วนตามแบบ
- ตรวจจำนวนคนงาน ช่างและเครื่องมืออุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เพียงพอกับลักษณะงานและปริมาณงาน
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีตและต้องเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

การเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากช่างผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วนผสมหรือข้อกำหนด

- หากใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ให้ควบคุมเวลาในการผสมคอนกรีตให้เหมาะสม ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ตรวจสอบการขนส่งคอนกรีตจากรถขนส่งไปยังจุดที่ต้องการเทโดยไม่ให้เกิดการแยกตัว ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยในการเทคอนกรีตเพื่อป้องกันการแยกตัวในกรณีที่ระยะปล่อยคอนกรีตสูงเกินกว่า 2.00 เมตร
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump)ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด
- ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Vibrator) อย่างถูกวิธี
- ควบคุมการเก็บแท่งคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อทดสอบความสามารถการรับแรงอัด
- การเทคอนกรีตใหม่เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้งให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน พร้อมกับทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูน หรือน้ำยาประสานคอนกรีตบนผิวบริเวณที่เตรียมไว้แล้วเทคอนกรีตใหม่ทันที
- ขณะที่เทคอนกรีตต้องตรวจสอบเหล็ก Dowel และช่องเจาะต่างๆ ไม่ให้มีการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิม
- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที
- การถอดแบบอนุญาตให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตครบอายุ ตามข้อกำหนด ต่อไปนี้
    - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
    - แบบประกอบด้านล่างรองรับคาน พื้นบน 14 วัน
    - ในกรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้นต้องไม่น้อยกว่าความสามารถรับแรงอัดที่ 28 วัน
- ภายหลังถอดแบบหากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีตให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อนายช่างควบคุมงานโดยทันทีเพื่อพิจารณาให้ความเห็นชอบก่อนดำเนินการ
- วัสดุที่ใช้สำหรับทำรอยต่อระหว่างตัวท่อเหลี่ยมและปากท่อ การติดตั้งต้องปฏิบัติให้ได้ตามมาตรฐานและข้อกำหนด
- ตรวจสอบผลการทดลองความสามารถรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- หากผลการทดลองไม่เป็นเป็นไปตามข้อกำหนด ให้ผู้ควบคุมงานรายงานสำนักเจ้าของงานทราบโดยทันที

2.2 ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อสำเร็จจากโรงงาน (Precast Box Culvert)

- ตรวจสอบสภาพทั่วไปของโรงงาน สภาพการทำงาน ขั้นตอนการผลิต ที่มีผลต่องานโครงสร้าง Box Culvert
- ตรวจสอบแบบหล่อและขนาด ให้ได้มิติตามที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีตในโรงงาน

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม การใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้ ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion) ความสะอาด ของหินหรือกรวด และทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบแบบหล่อให้ได้ ขนาด ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ มีความแข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
- ตรวจชนิด ขนาด จำนวน ระยะห่าง ระยะทาบ ตำแหน่งการทาบ ความสะอาด ไม่มีสนิมขุม ของเหล็กเสริม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและข้อกำหนด
- ตรวจระยะ Covering ให้ตรงตามข้อกำหนด
- ตรวจตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์เหล็ก Dowel ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆ ให้ครบถ้วนตามแบบ
- กรณี Box Culvert ที่เป็นท่อนปลายต้องเสริมเหล็ก Dowel ให้ยาวยื่นออกมาไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม เพื่อใช้ต่อชานปากท่อและกำแพงกันดิน
- จัดเตรียมจำนวนคนงานและช่าง เครื่องมืออุปกรณ์ในการเทคอนกรีตให้เพียงพอกับลักษณะงานและปริมาณงาน
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม

การเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากช่างผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบแบบหล่อและขนาด แบบรายละเอียดให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างที่กำหนดไว้ หากมีการเปลี่ยนแปลงชนิดและขนาดของเหล็กเสริมต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักเจ้าของงาน
- เทคอนกรีต ในแบบที่เตรียมไว้และตรวจสอบวิธีการที่ทำให้คอนกรีตแน่นตัว โดยไม่ให้เหล็กเสริมเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด
- ตรวจสอบสภาพคอนกรีตหลังการถอดแบบ หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีตให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไข ต่อนายช่างควบคุมงาน
- ตรวจสอบผลการทดลองความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด หากผลการทดลองไม่เป็นเป็นไปตามข้อกำหนด ให้ผู้ควบคุมงานรายงานสำนักเจ้าของงานทราบโดยทันที
- ควบคุมการบ่มคอนกรีต การกองเก็บ และการขนส่ง

2.2.1 การเตรียมงานฐานราก (Bedding)

- ปรับระดับพื้นดินรองรับท่อเหลี่ยมให้เรียบร้อยพร้อมเทคอนกรีตหยาบส่วนผสม 1:3:6 โดยปริมาตร ความหนาไม่น้อยกว่า 12 ซม. เว้นแต่แบบกำหนดเป็นอย่างอื่น ถ้าดินใต้ระดับพื้นท่อเหลี่ยมที่เตรียมเทคอนกรีตหยาบเป็นดินอ่อนมากให้ขุดออกแล้วแทนที่ด้วยวัสดุทรายถมให้แข็งแรงพอต่อการเทคอนกรีตหยาบรองพื้น
- การกำหนดระดับการเทคอนกรีตหยาบต้องให้ต่ำกว่าระดับจริงประมาณ 3 ซม.เมื่อคอนกรีตหยาบแข็งตัวสามารถรับน้ำหนักได้แล้ว ทำการติดตั้ง Box Culvert โดยการใช้ Cement Mortar อัตราส่วนผสม 1:2 (โดยปริมาตร) แล้วเทลงบนคอนกรีตหยาบที่ได้ดำเนินการไว้แล้ว โดยต้องให้มีปริมาณและความหนาเพียงพอที่จะอุดช่องว่างรอยต่อระหว่าง Box Culvert แต่ละท่อนกับคอนกรีตหยาบ

2.2.2 งานติดตั้งในสนาม

- ตรวจสอบแนวของท่อเหลี่ยม และวิธีการติดตั้งท่อเหลี่ยมให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- กำหนดตำแหน่งและจัดลำดับ ในการวางของท่อเหลี่ยมหล่อสำเร็จและท่อเหลี่ยมหล่อในที่ให้ได้ความยาวตามที่แบบกำหนด
- ก่อนติดตั้งให้ตรวจสอบจำนวนคนงานและเครื่องไม้เครื่องมือที่จะใช้ให้สมบูรณ์ครบถ้วน
- ทำการเข้าแบบเทคอนกรีตต่อความยาวของท่อเหลี่ยมให้ได้ตามแบบ (กรณีไม่ได้สั่งหล่อท่อนปลายจากโรงงาน) พร้อมฝังเหล็ก Dowel สำหรับเชื่อมต่อกับกำแพงปีกและพื้นชานหน้าท่อ

- ควบคุมการก่อสร้างต่อความยาวส่วนปลายของท่อเหลี่ยมทั้ง 2 ข้าง ให้ได้ตามแบบกำหนดพร้อมฝังเหล็ก Dowel เพื่อก่อสร้างกำแพงปีกและพื้นชานหน้าท่อ
- ควบคุมการอุดรอยต่อ (Joint Sealer) ของท่อเหลี่ยมด้านนอกและด้านในด้วย Cement Mortar และเทคอนกรีตทับบนหลังท่อให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- ควบคุมการบ่มคอนกรีตที่เททับบนหลังท่อเหลี่ยม

3. สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Bridge)

งานสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Bridge) เป็นงานคอนกรีตเปลือยโดยเมื่อทำการถอดแบบหล่อออกแล้ว ส่วนของโครงสร้างจะได้ขนาด รูปทรง มิติต่างๆ ตรงตามแบบกำหนด โดยไม่มีการตกแต่งฉาบผิวด้วยปูนทราย โครงสร้างที่แล้วเสร็จสมบูรณ์ต้องแข็งแรง ทนทาน สวยงามตลอดอายุการใช้งาน

ก่อนดำเนินการใด ๆ นายช่างควบคุมงานต้องพิจารณาตรวจสอบแบบก่อสร้างเปรียบเทียบสภาพจริงในสนาม เกี่ยวกับความยาวของสะพาน ระดับน้ำสูงสุด ระดับน้ำต่ำสุด ช่องลอด ตำแหน่งของตอม่อแต่ละตับ การทำมุมเฉียงกับลำน้ำ และขนาดช่วงสะพานว่า เหมาะสมตามที่สำนักสำรวจฯ ออกแบบไปหรือไม่ ถ้าเห็นว่าไม่เหมาะสม เช่นสะพานสั้นเกินไป ช่องลอดต่ำ เรือผ่านไม่ได้หรืออื่น ๆ ให้รีบรายงานสำนักเจ้าของงานโดยด่วน

3.1 การดำเนินงานโครงสร้างส่วนล่าง (Substructures)

3.1.1 ฐานรากสะพาน (Pile Cap or Footing)

ประเภทของฐานราก แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.1.1.1 ฐานแผ่ (Spread Footing)

ก่อนเริ่มดำเนินการให้ผู้รับจ้างสำรวจและศึกษาทางด้านธรณีวิทยาและอื่นๆ ที่จำเป็นแล้วกำหนดประเภทของฐานรากที่เหมาะสมตามความเห็นชอบของช่างควบคุมงาน

- เหมาะสำหรับหินพืด ดินดาน
- ระดับฐานรากต้องฝังลึกจากท้องคลองอย่างน้อย 2.50 เมตร หรือตามที่กำหนดในแบบก่อสร้าง หากวางฐานรากลึกน้อยกว่า 2.50 เมตร สำหรับตอม่อริมฝั่งต้องฝังให้ระดับฐานราก ลึกใกล้เคียงกับตอม่อกลางน้ำ เพื่อให้พ้นการกัดเซาะของกระแสน้ำ
- ตรวจสอบ Bearing Capacity ต้องไม่น้อยกว่า 10 ton/m^2 หรือเป็นไปตามแบบกำหนด
- กรณีผู้รับจ้างไม่สามารถขุดดินได้ลึกถึงระดับที่กำหนด ให้รายงานสำนักฯ เจ้าของงาน
- กรณีที่ช่างควบคุมงานเห็นว่าต้องทำการทดสอบการรับน้ำหนักตามรายการในสัญญา ผู้รับจ้างต้องจัดทำโดยทุนทรัพย์ของผู้รับจ้างทั้งสิ้น
- บันทึกระดับฐานรากแต่ละตับ เพื่อรายงานในแบบ บ.4.2 พร้อมระบายสี
- บันทึกลักษณะดินแต่ละชั้น ที่ตรวจพบในการก่อสร้างฐานรากลงในแบบ บ.4.2 โดยละเอียด
- กรณีที่เป็นหินพืดให้เจาะดูความหนาของหินต้องไม่น้อยกว่า 2.00 ม. โดยส่วนของฐานแผ่ ต้องฝังอยู่ในหินพืดไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร

3.1.1.2 ฐานรากชนิดเสาตอก (Driving Pile Footing)

- เหมาะสำหรับดินทั่วๆ ไป
- การตอกเสาเข็ม คสล. และเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง จะต้องใช้เครื่องกว้านยนต์และลูกตุ้มหนักไม่ต่ำกว่า 50 % ของน้ำหนักเสาเข็มที่ใช้ตอก แต่อย่างไรก็ตามลูกตุ้มต้องหนักไม่น้อยกว่า 3 ตัน ส่วนเครื่องตอกเสาเข็มชนิด Diesel Hammer อัดลม หรือชนิดอื่นใดให้เสนอรายละเอียดเพื่อขออนุมัติต่อนายช่างโครงการฯ
- ถ้าตอกเสาเข็ม คสล. หรือเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง จมได้ความลึกน้อยกว่า 4 เมตร จากท้องคลอง หรือระยะที่ลึกไม่พ้นจากการกัดเซาะของกระแสน้ำ ให้รีบรายงานสำนักฯ โดยด่วนพร้อมเสนอความเห็น
- การตอกเสาเข็มต้องไม่ให้คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดไว้ในแบบเกินกว่า 7.50 ซม. ตามข้อกำหนด ASSHTO ถ้าเกินกว่านี้ให้รายงานสำนักเพื่อพิจารณา
- กรณีตอกเสาเข็มผ่านชั้นดินแข็งหรือทราย หรือดินปนทราย ให้ใช้ความระมัดระวังให้มาก เพราะเสาเข็มอาจหักได้ง่าย กรณีต้องตอกเสาเข็มอย่างรุนแรง (Hard Driving) ควรเสริมหัวเสาเข็ม โดยใช้เหล็กแผ่นขนาดประมาณ 1/8 x 1 $\frac{1}{2}$ นิ้ว ทำเป็นปลอกรัดหล่อฝังเสมอกับผิวนอกของหัวเสาเข็มวางห่างกันประมาณ 15 ซม. ภายในระยะ 1.50 ม. จากหัวเสาเข็ม
- ห้ามนำเสาเข็มที่มีรอยแตกร้าวไปทำการตอกเป็นอันขาด
- ขณะตอกเสาเข็ม ถ้าปรากฏว่ามีรอยแตกร้าวหรือเสาเข็มหักด้วยเหตุประการใดๆ ก็ตามผู้รับจ้างจะต้องปฏิบัติดังนี้
- ในกรณีของเสาเข็ม คสล. ถ้ารอยแตกร้าวเกิดขึ้นที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของเสาเข็มเหนือระดับน้ำหรือระดับดิน ให้สกัดส่วนที่แตกร้าวหรือหักออกแล้วหล่อคอนกรีตใหม่ เมื่อครบอายุคอนกรีตแล้วจึงจะทำการตอกต่อไปได้
- ในกรณีของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงให้ปรึกษาสำนักเจ้าของงาน
- ถ้าส่วนแตกร้าว หรือหักอยู่ใต้ระดับน้ำ หรือระดับดิน ให้ทำการถอนเสาเข็มต้นนั้นทิ้ง แล้วนำเสาเข็มต้นอื่นมาตอกใหม่ ถ้าถอนเสาเข็มไม่ได้ ช่างควบคุมงานจะต้องรีบรายงานสำนักฯ พร้อมความเห็นโดยด่วนเพื่อพิจารณาและสั่งการ
- บันทึกระดับปลายเสาเข็มในแบบ บ 4.2 และรายละเอียดในการตอกเสาเข็มในแบบ ก. 1 รวบรวมนำส่งสำนักเจ้าของงาน

3.1.1.3 ฐานรากชนิดเสาเข็มเจาะระบบเจาะแห้ง (Dry Process Bored Pile)

ใช้ในกรณีที่กำหนดไว้ในแบบ หรือกรณีที่ไม่สามารถใช้ฐานรากชนิดเสาตอกได้ ทั้งนี้ต้องใส่เหล็กเสริมอย่างน้อย 1 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าตัด ตลอดความยาวของเสาเข็ม และต้องเสนอรูปแบบพร้อมรายการคำนวณ ให้สำนักสำรวจและออกแบบพิจารณาให้ความเห็นชอบเป็นลายลักษณ์อักษรก่อนทำการก่อสร้าง

เสาเข็มเจาะระบบเจาะแห้ง (Dry Process) ในสภาพดินบางแห่งเมื่อเจาะแล้วไม่พบน้ำใต้ดิน หรือเป็นชั้นทรายอัดตัวแน่นไม่เกิดการพังทลายของผนังหลุมเจาะ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ของเหลวป้องกันผนังหลุมเจาะมีขั้นตอนปฏิบัติ ควบคุมดังนี้

ก่อนเจาะ

- ตรวจสอบศูนย์กลางของตำแหน่งเสาเข็มและขนาดให้ได้ตามแบบ
- ตรวจสอบความมั่นคงของจุดยืนของเครื่องเจาะและทางสำหรับรถลำเลียงดินออก
- ตรวจสอบระยะห่างของหลุมที่จะเจาะใหม่กับหลุมของเสาเข็มที่เทคอนกรีตเสร็จใหม่ ๆ ต้องมีระยะห่างมากพอไม่ทำให้เกิดความเสียหาย
- ตรวจสอบสภาพและรอยต่อของปลอกเหล็ก ในกรณีที่ช่วงแรกของการขุดเจาะมักพบเป็นดินอ่อนต้องใส่ปลอกเหล็ก (Steel Casing) เพื่อป้องกันดินส่วนบนพัง และใช้หัวขุดเจาะแบบสว่าน (Auger Type)

การเจาะ

- ตรวจสอบแนวดิ่งของปลอกเหล็กตลอดเวลาขณะตอก
- ตรวจสอบและวัดความลึกของชั้นดินในหลุมเจาะที่เปลี่ยนไประหว่างการขุดเจาะ
- สังเกตการพังของดินผนังหลุมเจาะ และห้ามนำดินที่ขุดขึ้นมากองไว้ข้างหลุม
- ตรวจสอบก้นหลุม และทำให้หลุมเจาะแห้ง (ถ้าหากก้นหลุมมีน้ำใต้ดินซึมเข้าในหลุม) โดยทั่วไปจะใส่ปูนซีเมนต์ผงลงไปซับน้ำให้ก้นหลุมแห้ง
- วัดระดับก้นหลุมเจาะ ความลาดเอียง และสภาพของหลุมเจาะเมื่อความลึกของหลุมเจาะได้ตามต้องการ
- รีบดำเนินการเทคอนกรีตโดยเร็วอย่าทิ้งหลุมเจาะไว้นาน

การเทคอนกรีต

- ตรวจสอบความสะอาดก้นหลุมเจาะก่อนเทคอนกรีต
- ตรวจสอบขนาด จำนวน และตำแหน่งของเหล็กเสริมในหลุมเจาะให้เป็นไปตามแบบ
- ตรวจสอบตำแหน่งและปลายท่อส่งคอนกรีต Tremie ต้องไม่ห่างจากก้นหลุมเจาะหรือระดับของคอนกรีตในหลุมเจาะมาก เพื่อป้องกันคอนกรีตแยกตัว
- ตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบระดับของคอนกรีตที่เทได้ในหลุมเจาะแต่ละครั้ง เปรียบเทียบกับปริมาณตามแบบ
- ตรวจสอบระยะเผื่อของระดับคอนกรีตหัวเข็ม
- ดึงปลอกเหล็กขึ้นจากหลุมก่อนคอนกรีตก่อตัว และต้องระวังมิให้ปลอกเหล็กเกี่ยวเหล็กเสริมขึ้นมา

3.1.2 คานยึด (Bracing)

- ตรวจสอบตำแหน่งแนวก่อสร้าง ระยะช่วง (Span) ศูนย์กลางของฐานราก และศูนย์กลาง เสาตอม่อ
- ตรวจสอบความสูงของเสาตอม่อจากท้องคลองถึงท้องคานหัวเสา (Cap Beam) หากสูงเกินกว่า 3.00 เมตร ต้องก่อสร้างคานยึด
- กรณีเสาเข็มที่ตอกหนีศูนย์ ต้องขยายขนาดความกว้างคานยึด ให้ครอบคลุมเสาเข็มทั้งตับ ห้ามดัดเสาเข็มเข้าหาแนวคานยึด
- ตรวจสอบและกำหนดระดับท้องคานยึด เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดหัวเสาเข็ม
- ควบคุมการตัดคอนกรีตหัวเสาเข็ม โดยขีดเส้นแนวให้ชัดเจนก่อนใช้ใบตัดคอนกรีตตัดให้รอบหัวเสาเข็ม ทำการทุบหัวเสาเข็มส่วนเกินออก
- ตรวจสอบการดำเนินการก่อสร้างนั่งร้าน ค้ำยัน และไม้แบบที่จะใช้หล่อคอนกรีต ต้องอยู่ในสภาพสมบูรณ์และมีปริมาณเพียงพอและต้องใช้ทำมันทาแบบที่ผ่านการเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานแล้วว่า จะไม่มีผลกระทบกับคุณภาพของคอนกรีตและไม่ทำให้ผิวคอนกรีตเสียหายหรือไม่สวยงามเมื่อถอดแบบก่อสร้าง
- ตรวจสอบชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่งของเหล็กเสริมต่างๆ ให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างกำหนด และได้ระยะ Covering
- การเชื่อม ต่อทาบ ดัดงอ การผูกเหล็กเสริมต้องเป็นไปตามหลักวิชาการ หรือตามที่แบบก่อสร้างกำหนดไว้
- เหล็กเสริมต้องไม่มีสนิมขุม เปื้อนน้ำมัน คราบโคลน หากมี ให้ดำเนินการแก้ไขก่อนนำไปใช้
- ตรวจสอบการเข้าแบบหล่อคอนกรีต ให้ได้ขนาดและแนวตามแบบก่อสร้าง มีการยึดและค้ำยันที่แข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงจากการกระทำขณะเทคอนกรีต
- แบบข้างของคานยึด ต้องติดบัวลบเหลี่ยมขนาด 2.0 ซม. ทั้ง 4 มุม
- ตรวจสอบความเรียบร้อยอื่นๆ ก่อนดำเนินการเทคอนกรีต เช่น ความสะอาด การหนุนลูกปูน การอุดรอยต่อแบบ การเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักร บุคลากร และบริเวณที่จะดำเนินการเทคอนกรีต

3.1.3 เสาตอม่อ (Column)

- เมื่อเทคอนกรีตคานยึดแล้วเสร็จ ก่อนดำเนินการหล่อเสา (Column) ต่อไป ต้องตรวจสอบแนวตอม่อ ระยะช่วง (Span) และระยะห่างของเสาแต่ละต้นให้ถูกต้องตามแบบ
- เหล็กแกนเสา และเหล็กปลอกจะต้องไม่เป็นสนิม คราบโคลน น้ำมัน ถ้ามีจะต้องทำความสะอาดให้เรียบร้อยก่อนนำไปใช้งาน
- การดัดเหล็ก งอเหล็ก จะต้องเป็นไปตามแบบและข้อกำหนด ห้ามใช้ความร้อนในการดัดเหล็ก

- ผิวแบบจะต้องเรียบปราศจากคราบสนิม คราบคอนกรีต ถ้ามีต้องขัดออกแล้วล้างด้วยน้ำก่อนทาน้ำมันทาแบบ
- ตรวจสอบตำแหน่งของแบบหล่อให้ได้ระยะ ดิ่งและแนวฉากตามแบบก่อสร้าง
- ตรวจสอบความแข็งแรงของค้ำยัน ถ้าเป็นแบบเหล็กต้องให้ขันน๊อตให้แน่นทุกตัว
- ตรวจสอบระยะ Covering ให้ถูกต้อง
- ติดบัวลบเหลี่ยมเสา Column ทุกต้น
- ตรวจสอบและให้ระดับการหยุดเทคอนกรีตเสา Column ทุกต้น
- เมื่อตรวจสอบระดับ ขนาด ดิ่ง ฉาก ความสะอาด ระยะ Covering ระยะและจำนวนเหล็กเสริมเรียบร้อยถูกต้องตามแบบและข้อกำหนดแล้ว จึงอนุญาตให้เทคอนกรีตต่อไป

3.1.4 คานหัวเสา (Cap Beam)

- ตรวจสอบขนาดและระดับของคานหัวเสาหรือคานรับพื้น (Cap Beam) ให้ถูกต้องตามแบบก่อนดำเนินงานขั้นต่อไป
- กำหนดระดับเสาทุกต้น ตามแบบกำหนด
- เหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาดไม่มีสนิมขุม คราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ถ้ามีจะต้องทำความสะอาดก่อน
- ก่อนลงเหล็กเสริมจะต้องทาน้ำมันทาแบบท้องพื้นก่อน
- การผูกเหล็ก งอเหล็ก ให้เป็นไปตามแบบหรือข้อกำหนดการก่อสร้าง
- ถ้ามีการต่อทาบเหล็ก จะต้องต่อทาบตามแบบหรือข้อกำหนดและหลักวิชาการ
- ตรวจชนิด ขนาด จำนวน ระยะห่างของเหล็กเสริมและเหล็กปลอกให้ถูกต้องตามแบบ
- ตรวจแบบข้างที่จะนำมาใช้ผิวจะต้องเรียบไม่มีรอยรั่วและอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี
- ก่อนประกอบแบบข้างจะต้องทาน้ำมันทาแบบให้เรียบร้อยก่อน
- เมื่อประกอบแบบข้างแล้วตรวจสอบความแข็งแรงของค้ำยันกรณีใช้ Form Tie ให้ขันน๊อตให้แน่นทุกตัวและมีจำนวนเพียงพอ
- ตรวจสอบ ขนาด ตำแหน่ง และระดับหลัง Cap Beam ให้ถูกต้องตามแบบ
- ตรวจสอบระยะ Covering ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ พร้อมติดบัวลบเหลี่ยม
- ตรวจอุปกรณ์ที่จะต้องฝังและช่องเจาะต่าง ๆ ให้มีครบถ้วนตามแบบ เช่น บัวลบเหลี่ยม รูเสียบเหล็ก Dowel เป็นต้น
- ตรวจสอบระดับ ขนาด ดิ่ง ฉาก ความสะอาด ระยะ Covering ระยะและจำนวนเหล็กเสริม เรียบร้อยถูกต้องตามแบบและข้อกำหนดแล้ว จึงอนุญาตให้เทคอนกรีตต่อไป

3.2 การดำเนินงานโครงสร้างส่วนบน (Superstructures)

การควบคุมงานก่อสร้าง Superstructures ซึ่งได้แก่ แผ่นยางรองรับพื้นสะพาน พื้นสะพาน (ทั้งหล่อในที่และหล่อจากโรงงาน) รวมไปถึงทางเท้า ขอบทาง และราวสะพาน ต้องดำเนินการตรวจสอบระดับและตำแหน่งของระบบระบายน้ำบนพื้นสะพานและใต้สะพานให้เหมาะสมกับสภาพในแต่ละพื้นที่ หรือเป็นไปตามแบบดังนี้

3.2.1. แผ่นยางรองรับพื้นสะพาน (Elastomeric Bearing Pad)

แผ่นยางรองรับพื้นสะพานนั้นเป็นส่วนสำคัญที่จะรองรับการถ่ายน้ำหนักทั้งหมดจากโครงสร้างส่วนบนของสะพานรวมถึงน้ำหนักจรในการใช้งานจริงด้วย ดังนั้นผู้ควบคุมงานจะต้องดำเนินการตรวจสอบควบคุมการติดตั้งให้ถูกต้อง เพื่อผลในการใช้งานที่มีประสิทธิภาพดังนี้

- ตรวจสอบขนาดมิติต่างๆ ของแผ่นยางให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- แผ่นยางรองรับพื้นสะพาน ต้องมีความยาวต่อเนื่อง เท่าความกว้างพื้นสะพาน
- ตรวจสอบคุณสมบัติแผ่นยางรองรับพื้นสะพาน เช่น Hardness ให้เป็นไปตามแบบกำหนด

3.2.2 พื้นสะพานชนิด R.C. Slab Bridge

- เมื่อก่อสร้างคานตอม่อ (Cap Beam) เสร็จแล้วจึงทำการตรวจสอบและวางแนวต่างๆ เพื่อจะทำการก่อสร้างพื้นสะพาน
- ตรวจสอบค่ามุม Skew (ถ้ามี) พร้อมตรวจสอบและกำหนดระดับต่างๆ เพื่อติดตั้งแบบสำหรับหล่อคอนกรีตพื้นสะพาน
- ติดตั้งแบบหล่อพื้นสะพาน ไม้แบบและค้ำยันต่างๆ พร้อมด้วยเครื่องมือเครื่องจักร ต้องมีการจัดเตรียมตรวจสอบให้อยู่ในสภาพดีพร้อมใช้งาน และมีปริมาณเพียงพอ
- พื้นที่และวัสดุที่จะรองรับค้ำยัน นั่งร้าน ต้องมีการเตรียมการเพื่อให้ง่ายต่อการดำเนินการและสามารถรองรับน้ำหนักได้เป็นอย่างดีที่จะไม่ทำให้พื้นทรุดตัวเสียระดับ ต้องมีการตรวจสอบระดับการทรุดตัวขณะเทคอนกรีตด้วย พร้อมมีการวางแผนป้องกันแก้ไข
- กำหนดและตรวจสอบระยะในการติดตั้งไม้แบบ นั่งร้าน ค้ำยัน การยึดรัดโครงสร้างของแบบหล่อให้มีความแข็งแรงเพียงพอ โดยไม่ทำให้แนวและระดับของพื้นสะพานเปลี่ยนไป
- ตรวจสอบตำแหน่งช่องเจาะต่างๆ เช่น ช่องหรือท่อร้อยสายไฟฟ้าต่างๆ รวมทั้งขนาดของท่อช่องระบายน้ำ ระยะห่างและการยึดให้มีความแข็งแรงไม่ขยับเลื่อนได้ขณะเทคอนกรีต
- ก่อนทำการลงเหล็กเสริม ควรตรวจสอบความเรียบร้อยของแบบหล่อพื้นที่ดำเนินการแล้วเสร็จอีกครั้ง เช่น ตรวจสอบแนว ระดับ การยึด นั่งร้านค้ำยัน การติดตั้งบัว ร่องกันน้ำหยด (Water Drip) ให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง
- กำหนดตำแหน่งและระยะของเหล็กเสริมต่างๆ ให้ชัดเจนและถูกต้องตามแบบก่อสร้าง

- เหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาดไม่มีสนิมขุม คราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ถ้ามีต้องทำการแก้ไขก่อนนำไปใช้
- ก่อนลงเหล็กเสริมจะต้องทาน้ำมันทาแบบท้องพื้นก่อน
- ตรวจสอบการเชื่อม ต่อทาบ ดัดงอและการผูกเหล็กเสริมรวมไปถึงระยะ Covering ให้ได้ตามหลักวิชาการ หรือตามที่แบบก่อสร้างกำหนด
- ติดตั้งเหล็ก Bar Chair เพื่อให้เหล็กอยู่ในตำแหน่งและให้พื้นได้ความหนาที่ถูกต้อง
- เหล็กเสริมบริเวณที่จะก่อสร้างทางเท้าและราวสะพานต่อไปนั้น ต้องตรวจสอบจำนวนและลักษณะให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง
- กำหนดระดับพื้น วางตำแหน่งเหล็กทำระดับพื้น เพื่อใช้ในการปรับแต่งหน้าปูนเวลาเทคอนกรีต เหล็กระดับต้องมีการผูกยึดติดอย่างแข็งแรงและสามารถเอาออกได้สะดวกเมื่อปรับแต่งคอนกรีตได้ระดับแล้ว
- ตรวจสอบความเรียบร้อยอื่นๆ ก่อนดำเนินการเทคอนกรีต เช่น ความสะอาด การหนุนลูกปูน การอุดรอยต่อแบบ การเตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องจักร บุคลากร และบริเวณที่จะดำเนินการเทคอนกรีต

3.2.3 ทางเท้า ขอบทางและราวสะพาน

- ตรวจสอบแนว และระดับให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง
- ตรวจสอบขนาดต่างๆ ของแบบ รวมถึงตำแหน่งที่ติดตั้งให้ถูกต้องตามแบบ
- ตรวจสอบและควบคุมงานเทคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนด

4. สะพานคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Bridge)

ก่อนดำเนินการใด ๆ นายช่างควบคุมงานต้องพิจารณาตรวจสอบแบบก่อสร้างเปรียบเทียบสภาพเป็นจริงในสนาม เกี่ยวกับความยาวของสะพาน ระดับน้ำสูงสุด ระดับน้ำต่ำสุด ช่องลอด ตำแหน่งของตอม่อแต่ละตับ การทำมุมเฉียงกับลำน้ำ และขนาดช่วงสะพานว่า เหมาะสมตามที่สำนักสำรวจฯ ออกแบบไปหรือไม่ ถ้าเห็นว่าไม่เหมาะสม เช่นสะพานสั้นเกินไป ช่องลอดต่ำ เรือผ่านไม่ได้หรืออื่น ๆ ให้รีบรายงานสำนักเจ้าของงานโดยด่วน

4.1 การดำเนินงานโครงสร้างส่วนล่าง (Substructures)

4.1.1 ฐานรากสะพาน (Pile Cap or Footing)

ประเภทของฐานราก แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

4.1.1.1. ฐานแผ่ (Spread Footing)

ก่อนเริ่มดำเนินการให้ผู้รับจ้างสำรวจและศึกษาทางด้านธรณีวิทยาและอื่นๆที่จำเป็นแล้วกำหนดประเภทของฐานรากที่เหมาะสมตามความเห็นชอบของนายช่างผู้ควบคุมงาน

- เหมาะสำหรับหินพืด ดินดาน
- ระดับฐานรากต้องฝังลึกจากท้องคลองอย่างน้อย 2.50 เมตร หรือตามที่กำหนดในแบบก่อสร้างหากวางฐานรากลึกน้อยกว่า 2.50 เมตร สำหรับตอม่อริมฝั่งต้องฝังให้ระดับฐานราก ลึกใกล้เคียงกับตอม่อกลางน้ำ เพื่อให้พ้นการกัดเซาะของกระแสน้ำ
- ตรวจสอบ Bearing Capacity ต้องไม่น้อยกว่า 10 ton/m^2 หรือเป็นไปตามแบบกำหนด
- กรณีผู้รับจ้างไม่สามารถขุดดินได้ลึกถึงระดับที่กำหนด ให้รายงานสำนักฯ เจ้าของงาน กรณีที่ผู้ควบคุมงานเห็นว่าต้องทำการทดสอบการรับน้ำหนักตามรายการในสัญญา ผู้รับจ้างต้องจัดทำโดยทุนทรัพย์ของผู้รับจ้างทั้งสิ้น
- บันทึกระดับฐานรากแต่ละตับ เพื่อรายงานในแบบ บ.4.2 พร้อมระบายสี
- บันทึกลักษณะดินแต่ละชั้น ที่ตรวจพบในการก่อสร้างฐานรากลงในแบบ บ.4.2 โดยละเอียด
- กรณีที่เป็นหินพืดให้เจาะดูความหนาของหินต้องไม่น้อยกว่า 2.00 ม. โดยส่วนของฐานแผ่ ต้องฝังอยู่ในหินพืดไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร

4.1.1.2. ฐานรากชนิดเสาตอก (Driving Pile Footing)

- เหมาะสำหรับดินทั่วๆ ไป
- การตอกเสาเข็ม คสล. และเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง จะต้องใช้เครื่องกว้านยนต์และลูกตุ้มที่มีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 50 % ของน้ำหนักเสาเข็มที่ใช้ตอก และต้องมี

น้ำหนักไม่น้อยกว่า 3 ตัน ส่วนเครื่องตอกเสาเข็มชนิด Diesel Hammer ชนิดอัดลม หรือชนิดอื่นใด ต้องเสนอรายละเอียดเพื่อขออนุมัติต่อนายช่างโครงการฯ

- ควบคุมการตอกเสาเข็มต้องไม่ให้ผิดจากตำแหน่งเสาเข็มที่กำหนดไว้ในแบบ เกินกว่า 7.50 ซม. ตามข้อกำหนด ASSHTO ถ้าเกินกว่านี้ให้รายงานสำนักเพื่อพิจารณา
- ตรวจสอบความลึกของการตอกเสาเข็ม หากตอกได้ความลึกน้อยกว่า 4.0 เมตร จากท้องคลองหรือท้องฐานราก หรือระยะที่ตอกลึกไม่พ้นจากการกัดเซาะของกระแสน้ำ ให้รายงานสำนักเจ้าของงาน
- การตอกเสาเข็มคอนกรีต กรณีใช้เครื่องกว้านยนต์ลูกตุ้มต้องหนักไม่น้อยกว่า 80 % ของน้ำหนักเสาเข็มที่ใช้ตอกและต้องหนักไม่น้อยกว่า 3 ตัน กรณีใช้เครื่องตอกเสาเข็มชนิดอื่นให้เสนอรายละเอียด เพื่อขออนุมัตินายช่างโครงการฯ ควบคุมและตรวจสอบการตอกเสาเข็มไม่ให้เกิดความเสียหาย และต้องตอกต่อเนื่องให้แล้วเสร็จ
- กรณีตอกเสาเข็มผ่านชั้นดินแข็งหรือทราย หรือดินปนทราย และดินดาน ให้ใช้ความระมัดระวัง เพราะเสาเข็มอาจหักได้ง่าย กรณีต้องตอกเสาเข็มอย่างรุนแรง (Hard Driving) ต้องเสริมเหล็กที่หัวเสาเข็ม โดยใช้เหล็กแผ่นขนาดประมาณ 1/8 x 1 ½ นิ้ว ทำเป็นปลอกรัดหล่อฝังเสมอกับผิวนอกของหัวเสาเข็ม วางห่างกันประมาณ 15 ซม. ภายในระยะ 1.50 ม. จากหัวเสาเข็ม
- ห้ามนำเสาเข็มที่มีรอยแตกร้าวไปทำการตอกเป็นอันขาด
- ขณะตอกเสาเข็ม ถ้าปรากฏว่ามีรอยแตกร้าวหรือเสาเข็มหักด้วยเหตุประการใดๆ ก็ตามผู้รับจ้างจะต้องปฏิบัติดังนี้
- ในกรณีของเสาเข็ม คสล. ถ้ารอยแตกร้าวเกิดขึ้นที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของเสาเข็มเหนือระดับน้ำหรือระดับดิน ให้สกัดส่วนที่แตกร้าวหรือหักออกแล้วหล่อคอนกรีตใหม่เมื่อครบอายุคอนกรีตแล้วจึงจะทำการตอกต่อไปได้
- ในกรณีของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงให้ปรึกษาสำนักเจ้าของงาน
- ถ้าส่วนแตกร้าว หรือหักอยู่ใต้ระดับน้ำ หรือระดับดิน ให้ทำการถอนเสาเข็มต้นนั้นทิ้ง แล้วนำเสาเข็มต้นอื่นมาตอกใหม่ ถ้าถอนเสาเข็มไม่ได้ ช่างควบคุมงานจะต้องรีบรายงานสำนักฯ พร้อมความเห็นโดยด่วนเพื่อพิจารณาและสั่งการ
- บันทึกระดับปลายเสาเข็มในแบบ บ 4.2 และรายละเอียดในการตอกเสาเข็มในแบบ ก. 1 รวบรวมนำส่งสำนักเจ้าของงาน

4.1.1.3 ฐานรากชนิดเสาเข็มเจาะ (Bored Pile)

ใช้ในกรณีที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง หรือกรณีที่ไม่สามารถใช้ฐานรากชนิดเสาเข็มตอกได้ ทั้งนี้ ต้องใช้เหล็กเสริมอย่างน้อย 1 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าตัด ยาวตลอดความยาวของเสาเข็ม และต้องเสนอรูปแบบและรายการคำนวณ ให้สำนักสำรวจและออกแบบเห็นชอบเป็นลายลักษณ์อักษรก่อน

กรณี เสาเข็มเจาะระบบเจาะเปียก (Wet Process) จะใช้กับสภาพดินที่มีชั้นทรายและมีระดับน้ำใต้ดินสูง ซึ่งจำเป็นต้องใช้ของเหลวรักษาเสถียรภาพแรงดันภายในหลุมเจาะ เพื่อป้องกันมิให้ผนังหลุมเจาะพัง เช่น สารละลายเบนโทไนท์ (Bentonite) เป็นต้น ซึ่งมีขั้นตอนการควบคุมงานดังนี้

ก่อนเจาะ

- ตรวจสอบสภาพชั้นดิน ความยาวของปลอกเหล็ก (Steel Casing) และความยาวเสาเข็มเจาะที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักสำรวจและออกแบบแล้ว
- ตรวจสอบแบบก่อสร้าง กรณีกำหนดให้มีการทดสอบคุณภาพเสาเข็มด้วยวิธี Sonic Logging และปรับปรุงคุณภาพชั้นดินที่ปลายเสาเข็มด้วยการอัดฉีดน้ำปูน (Grouting) ต้องติดตั้งท่อเหล็กกลม (Steel Pipe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร อย่างน้อย 4 ท่อ ยึดติดไว้กับเหล็กเสริมของเสาเข็มเจาะตลอดความยาวเสาเข็ม หรือตามแบบกำหนด
- ตรวจสอบศูนย์กลางของตำแหน่งเสาเข็ม และขนาดให้เป็นไปตามแบบ
- ตรวจสอบความมั่นคงของพื้นดินบริเวณรอบตำแหน่งหลุมเจาะ สำหรับเครื่องจักรขุดเจาะ และรถลำเลียงดินออก
- ตรวจสอบระยะห่างของหลุมเจาะที่จะเจาะใหม่กับหลุมของเสาเข็มที่เทคอนกรีตเสร็จใหม่ ๆ ต้องมีระยะห่างมากเพียงพอที่แรงสั่นสะเทือนจากการก่อสร้างเสาเข็มเจาะต้นใหม่ จะไม่ส่งผลกระทบให้เกิดความเสียหายต่อเสาเข็มที่แล้วเสร็จใหม่ๆ

การเจาะ

- ตรวจสอบแนวดิ่งของปลอกเหล็กตลอดเวลาการตอก
- ตรวจสอบแนวดิ่งของเครื่องเจาะตลอดการขุดเจาะ
- ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเสาเข็มเจาะต้องไม่เกิน 10 ซม. และความเบี่ยงเบนแนวดิ่งไม่เกิน 1:100 หรือ ตามที่แบบกำหนด
- ตรวจสอบลักษณะดินที่ขุดขึ้นจากหลุมเจาะที่ความลึกชั้นต่าง ๆ เก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลไว้เปรียบเทียบกับข้อมูลชั้นดิน (Boring Log) ที่สำรวจไว้ก่อนแล้ว กรณีที่ลักษณะดินที่ปลายเสาเข็มเจาะคลาดเคลื่อนจากที่สำรวจไว้ให้รายงานสำนักเจ้าของงานพิจารณาทันที
- ตรวจสอบคุณภาพของ Drilling Fluids ให้เป็นไปตามข้อกำหนด และเติม Driling Fluids ลงในหลุมเจาะเพื่อรักษาระดับให้สูงตามที่กำหนด
- ตรวจสอบความลึกของหลุมเจาะ ความลาดเอียง ขนาด และสภาพของหลุมเจาะด้วยเทปวัด หรือเครื่องมือทดสอบอื่นตามที่ได้กำหนดไว้
- ตรวจสอบก้นหลุมเจาะ ต้องสะอาดไม่มีตะกอนที่ก้นหลุม ผู้รับจ้างต้องเสนอวิธีการทำความสะอาดก้นหลุมเจาะขณะรอการเทคอนกรีต โดยทั่วไปใช้วิธี Air Lifts
- ตรวจสอบการใส่เหล็กเสริมลงในหลุมเจาะเสาเข็ม รอยต่อเหล็กเสริมต้องแข็งแรง และใส่ Concrete Covering Block ป้องกันเหล็กเสริมติดผนังหลุมเสาเข็ม

การเทคอนกรีต

- ตรวจสอบปริมาณคอนกรีตที่ต้องใช้
- ควบคุมเวลาการทำงานตั้งแต่ขุดเจาะหลุมเสาเข็มแล้วเสร็จจนถึงเริ่มเทคอนกรีตต้องไม่เกิน 6 ชั่วโมง หรือตามแบบกำหนด
- เทคอนกรีตลงสู่ก้นหลุมเจาะด้วยท่อ Tremie ตรวจสอบรายละเอียดความยาวแต่ละท่อน จำนวนท่อ และให้ปลายท่อห่างจากก้นหลุมประมาณ 50 เซนติเมตร หรืออยู่ใต้ระดับคอนกรีตที่เทแล้วตลอดเวลา
- ตรวจสอบระดับของคอนกรีตที่เทได้แต่ละครั้งในหลุมเจาะ เปรียบเทียบกับปริมาณตามแบบ
- ตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบระยะเผื่อของระดับคอนกรีตหัวเข็มที่ต้องตัดทิ้ง
- ดึงปลอกเหล็กออกก่อนคอนกรีตก่อตัวด้วยหัวจับยึดแบบสั่น กรณีแบบไม่กำหนดให้ทิ้งปลอกเหล็กไว้ และต้องระวังเหล็กเสริมถูกดึงติดขึ้นมาด้วย

คานยึด (Bracing) และเสาตอม่อ (Column)

สำหรับคานยึด (Bracing) เสาตอม่อ และคานหัวเสานั้นต้องดำเนินการตรวจสอบ แนวตอม่อ ระยะช่วง (Span) และระยะห่างของเสาเข็มแต่ละต้นในฐานตอม่อ กรณีตำแหน่งเสามีความคลาดเคลื่อน ให้ผู้รับจ้างเสนอรายการคำนวณและแบบแก้ไขต่อผู้ควบคุมงาน และรายงานสำนักสำรวจและออกแบบเพื่อพิจารณา

4.1.2 คานยึด (Bracing)

- ตรวจสอบตำแหน่งแนวก่อสร้าง ระยะช่วง (Span) ศูนย์กลางของฐานราก และศูนย์กลางเสาตอม่อ
- ตรวจสอบและกำหนดขนาดคานยึด และจำนวนเสาเข็มของแต่ละตับ
- ถ้าเข็มที่ตอกหนีศูนย์ซึ่งจะต้องขยายขนาดความกว้างคานยึด เพื่อยึดเข็มที่หนีศูนย์โดยเสาเข็มที่หนีศูนย์จะต้องหนีศูนย์ไม่เกิน 75 มม. ห้ามดำเนินการหล่อต่อเสาเข็ม โดยวิธีการเบนแนวเสาต่อเข้าหาแนวคานยึด
- ตรวจสอบและให้ระดับท้องฐานรากเพื่อที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดหัวเสาเข็มของฐานราก
- ควบคุมการตัดคอนกรีตหัวเสาเข็ม โดยกำหนดขีดเส้นแนวให้ชัดเจนก่อนใช้ใบตัดคอนกรีตตัดให้รอบหัวเสาเข็ม ทำการทุบหัวเสาเข็มที่ตัดแล้วเสร็จ
- ตรวจสอบการดำเนินการก่อสร้างนั่งร้าน ค้ำยัน และแบบหล่อ ที่จะใช้หล่อคอนกรีต ต้องอยู่ในสภาพสมบูรณ์ มีปริมาณเพียงพอ และต้องใช้น้ำมันทาแบบที่ผ่านการเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานให้ใช้ได้ โดยต้องไม่มีผลกระทบกับคุณภาพของคอนกรีต ไม่ทำให้ผิวคอนกรีตเสียหาย และมีความสวยงามเมื่อถอดแบบก่อสร้าง

- ตรวจสอบชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะ Covering ของเหล็กเสริม ให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างกำหนด
- การเชื่อม ต่อทาบ ดัดงอ และการผูกเหล็กเสริม ต้องเป็นไปตามหลักวิชาการ หรือตามที่แบบก่อสร้างกำหนดไว้
- เหล็กเสริมต้องไม่มีสนิมขุม เปื้อนน้ำมัน คราบโคลน หากมีให้ดำเนินแก้ไขก่อนนำไปใช้
- ตรวจสอบการเข้าแบบหล่อคอนกรีต ให้ได้ขนาดและตำแหน่งตามแบบก่อสร้าง มีการยึดและค้ำยันที่แข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงจากการกระทำขณะเทคอนกรีต
- ระดับหลัง ท้อง มุม ของคานยึด ต้องติดบัวลบเหลี่ยมขนาด 2.0 ซม.
- ตรวจสอบความเรียบร้อย ก่อนดำเนินการเทคอนกรีต เช่น ความสะอาด การหนุนลูกปูน การอุดรอยต่อแบบหล่อ การจัดเตรียมการอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักร บุคลากร และจัดเตรียมบริเวณที่จะดำเนินการเทคอนกรีต รวมถึงการจัดการจราจรบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง

4.1.3 เสาตอม่อ (Column)

ดำเนินการตรวจสอบแนวตอม่อ ระยะช่วง (Span) ของตำแหน่งตอม่อทุกตับรวมถึงตรวจสอบขนาดระยะห่างของเสาแต่ละต้นในตอม่อ ให้ถูกต้องตามแบบก่อนและดำเนินขั้นตอนควบคุมตรวจสอบงานต่อไปนี้

- เมื่อเทคอนกรีตคานยึดเรียบร้อย ก่อนดำเนินการหล่อเสา ต้องตรวจสอบแนวตอม่อ ระยะช่วง (Span) ระยะห่างของเสาแต่ละต้นให้ถูกต้องตามแบบ
- เหล็กแกนเสา และเหล็กปลอกจะต้องไม่เป็นสนิม คราบโคลน น้ำมัน ถ้ามีจะต้องทำความสะอาดให้เรียบร้อยก่อนนำไปใช้งาน
- การดัด งอเหล็กเสริม ต้องเป็นไปตามแบบและข้อกำหนด ห้ามใช้ความร้อนในการดัดเหล็ก
- ผิวแบบจะต้องเรียบปราศจากคราบสนิม คราบคอนกรีต ถ้ามีต้องขัดออกแล้วล้างด้วยน้ำก่อนทาน้ำมันทาแบบ
- ตรวจสอบตำแหน่งของแบบหล่อให้ได้ระยะ ดิ่งและแนวฉากตามแบบก่อสร้าง
- ตรวจสอบความแข็งแรงของค้ำยัน ถ้าเป็นแบบเหล็กต้องขันน็อตให้แน่นทุกตัว
- ตรวจสอบระยะ Covering ให้ถูกต้อง
- ติดบัวลบเหลี่ยมเสาทุกต้น
- ตรวจสอบและให้ระดับการหยุดเทคอนกรีตเสาทุกต้น
- เมื่อตรวจสอบระดับ ขนาด ดิ่ง ฉาก ความสะอาด ระยะ Covering ระยะเหล็กเสริม เรียบร้อยถูกต้องตามแบบและข้อกำหนดแล้ว จึงอนุญาตให้เทคอนกรีตต่อไป

4.2 โครงสร้างส่วนบน (Superstructures)

การควบคุมงานก่อสร้างโครงสร้างส่วนบน ได้แก่ แผ่นยางรองรับพื้นสะพาน คานคอนกรีตอัดแรง คานหัวเสา พื้นสะพาน(ทั้งหล่อในที่และหล่อจากโรงงาน) รวมไปถึงทางเท้า ขอบทาง และราว

สะพาน ต้องดำเนินการตรวจสอบระดับและตำแหน่งของระบบระบายน้ำบนพื้นสะพานและใต้สะพานให้เป็นไปตามแบบและต้องเหมาะสมกับสภาพในแต่ละพื้นที่

4.2.1 แผ่นยางรองรับพื้นสะพาน (Bearing Pad)

แผ่นยางรองรับพื้นสะพานนั้นเป็นส่วนสำคัญที่จะรองรับการถ่ายน้ำหนักทั้งหมดจากโครงสร้างส่วนบนของสะพานรวมถึงน้ำหนักจรในการใช้งานจริงด้วย ดังนั้นผู้ควบคุมงานจะต้องดำเนินการตรวจสอบควบคุมการติดตั้งให้ถูกต้อง เพื่อผลในการใช้งานที่มีประสิทธิภาพดังนี้

- ตรวจสอบคุณสมบัติและขนาดมิติต่างๆ ของแผ่นยางให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบหรือตามที่ผู้รับจ้างได้ออกแบบตามมาตรฐาน BS, ASTM หรือมาตรฐาน AASHTO ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักสำรวจและออกแบบ
- ทดลองตัวอย่างจากแหล่งผลิต (General Test) โดยให้ผู้รับจ้างส่งแผ่นตัวอย่างจำนวน 1 ตัวอย่าง ของแผ่นยางแต่ละชนิด เพื่อทดสอบคุณสมบัติก่อนการผลิตใช้งานจริง
- ทดลองตัวอย่างจากแผ่นยางที่ผลิตแล้ว (Control Test) โดยให้ผู้รับจ้างส่งแผ่นตัวอย่างจำนวน 1 % หรืออย่างน้อย 3 แผ่น จากจำนวนที่ผลิต
- การทดสอบเพื่อการใช้งาน (Quick Production Test) โดยผู้ควบคุมงานต้องควบคุมการทดสอบแผ่นยางที่จะนำมาใช้งานทุกแผ่น โดยต้องให้ผลใช้ได้ตามข้อกำหนด
- โรงงานผู้ผลิตระบุ Code แทนชื่อสายทางหรือโครงการฯ และเรียงลำดับหมายเลขการผลิตบนแผ่นยางที่ผลิตทุกแผ่น
- เมื่อนำมาใช้งาน ต้องตรวจสอบตำแหน่งการติดตั้ง ระดับ ให้ถูกต้องตามแบบ โดยการปรับระดับที่เต้ารับ ซึ่งใช้วัสดุ Non-Shrink Mortar ก่อนที่จะวางติดตั้ง

4.2.2 คานคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Girder)

งานก่อสร้างสะพานในปัจจุบันใช้คอนกรีตอัดแรงในการก่อสร้างชิ้นส่วนต่างๆมากขึ้น เช่น เสาเข็ม ตอม่อ คาน เป็นต้น จำเป็นต้องใช้ความรู้ด้านคอนกรีตอัดแรงในการปฏิบัติเพื่อให้ผลงานก่อสร้างเป็นไปตามที่ออกแบบไว้

งานคอนกรีตอัดแรง คือ กรรมวิธีการผลิตและออกแบบโครงสร้างคอนกรีตชนิดหนึ่งที่อาศัยการอัดแรงเข้าไปในโครงสร้างคอนกรีต (Prestressing Force) เพื่อให้เกิดหน่วยแรง (Stress) ขึ้นในตัวโครงสร้างคอนกรีตและหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในตัวโครงสร้างคอนกรีตนี้ จะเป็นตัวไปต้านทานหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีตเอง และการบรรทุกน้ำหนักจรของโครงสร้างคอนกรีตอีก ทีหนึ่ง โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงจะรับน้ำหนักได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของแรงอัดที่อัดเข้าไปในโครงสร้างคอนกรีต โดยการใช้ลวดเหล็กแรงดึงสูงอัดแรงเข้าไปในคอนกรีต

คานคอนกรีตอัดแรงแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงก่อน (Pre – Tensioned Method)
2. การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง (Post – Tensioned Method)

ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

- รายละเอียดรูปแบบของคานคอนกรีตอัดแรง เช่น ความยาวคาน ลักษณะปลายคานเป็นแบบ Half Joint หรือ Full Joint
- รายละเอียดของการอัดแรงเป็นแบบดึงลวดอัดแรงก่อน (Pre-Tensioned) หรือแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง (Post-Tensioned)
- รายละเอียดของชนิด ขนาด ประเภทและชั้นคุณภาพของลวดอัดแรงตามแบบกำหนด
- คำนวณหาค่าการยืดตัว (Elongation) ของลวดอัดแรง จากแรงดึงตามแบบกำหนด

4.2.2.1 คานคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงก่อน (Pre-Tensioned)

การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงก่อนหมายถึงการดึงลวดอัดแรงก่อนเทคอนกรีต เป็นวิธีการอัดแรงที่ใช้กันแพร่หลาย เหมาะสำหรับการผลิตในโรงงานซึ่งมีการก่อสร้างฐานหล่อคอนกรีต ถาวร (Bed) ที่มีความยาวมาก สามารถหล่อคานคอนกรีตได้จำนวนมากต่อการดึงลวดอัดแรงหนึ่งครั้ง ซึ่งปกติเป็นคานคอนกรีตที่มีความยาวตั้งแต่ 5.0-25.0 เมตร

ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

- ตรวจสอบแบบรายละเอียดของคานคอนกรีต อัดแรง(Prestressed Concrete Girder)
- ตรวจสอบแนวและระดับฐานหล่อ (Bed)
- ตรวจสอบขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะทาบ ระยะห่างของเหล็กเสริมและต้องสะอาดไม่เป็นสนิมขุม
- ตรวจสอบชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ความสะอาด ของลวดอัดแรง (Tendon) ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด
- ตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์การดึงลวดอัดแรง ต้องมีเอกสารรับรองการทดลองปรับเทียบและมีทีระยะเวลาครอบคลุมระหว่างการปฏิบัติงาน
- ตรวจสอบรายการคำนวณการดึงลวดอัดแรงและการยืดตัว Elongation ให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- ตรวจสอบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต (Concrete Mixed Design) และทำการทดสอบกำลังรับ แรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง เป็นไปตามแบบกำหนด

ขั้นตอนการหล่อคานคอนกรีต

- ตรวจสอบการร้อยลวดอัดแรง พร้อมใส่ท่อหุ้มลวดอัดแรง (Debond) ตามแบบ
- ตรวจสอบการประกอบเหล็กเสริม และติดตั้งลูกปูนให้ได้ระยะ Covering ตามแบบ
- ควบคุมการดึงลวดอัดแรงทุกเส้นให้ตึง (Pre-Load) ตรวจสอบรอยแตก ตำแหน่งท่อหุ้มของลวดอัดแรงตลอดแนว ทำเครื่องหมายไว้ จากนั้นดึงลวดอัดแรงตามค่าแรงดึงที่แบบกำหนด วัดระยะการยืดตัว ตามที่กำหนดไว้ จดบันทึกการดึงลวดอัดแรงทุกเส้น

- ประกอบแบบหล่อที่ทาน้ำมันทาแบบ และยึดค้ำยันให้แข็งแรง กรณีคานไม่วางอยู่ในระดับให้ทำการปรับคานและจุดรองรับให้เหมาะสม
- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากนายช่างควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ขณะเทคอนกรีตต้องตรวจสอบแบบหล่อ ไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัว
- ตรวจสอบความข้นเหลวของคอนกรีต (Slump Test) ตามข้อกำหนด และเก็บแท่งคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อการทดสอบความสามารถรับแรงอัด
- ควบคุมการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Vibrator) อย่างถูกวิธี
- บันทึก วัน เดือน ปี หมายเลขลำดับการหล่อ ตำแหน่งติดตั้งของคานคอนกรีตอัดแรง เพื่อความสะดวก ถูกต้อง ในการกองเก็บ และขนส่งไปใช้งานขั้นตอนต่อไป
- ก่อนการตัดลวดอัดแรง ต้องตรวจสอบผลการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้ได้ค่าตามแบบกำหนด
- ลดแรงดึงอย่างช้าๆ โดยคลายแม่แรงสำหรับลดแรงดึง จนกระทั่งแรงดึงลวดอัดแรงหมดไป จากนั้นจึงทำการตัดลวดอัดแรง
- กรณีหล่อคานคอนกรีตอัดแรงในฐานหล่อมากกว่าหนึ่งคาน การตัดลวดอัดแรง ให้ตัดลวดระหว่างคานคอนกรีตแต่ละคาน ให้ตัดสลับเส้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของคานคอนกรีตอัดแรง
- การตัดลวดอัดแรงที่บริเวณปลายคาน ให้ใช้เครื่องตัดชนิดแผ่นไฟเบอร์ ห้ามใช้ความร้อนในการตัดลวดอัดแรง

4.2.2.2 การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง (Post-Tensioned)

การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง หมายถึง การเทคอนกรีตในแบบหล่อก่อน จนคอนกรีตมีกำลังสูงเพียงพอจึงทำการอัดแรง เหมาะสำหรับโครงสร้างขนาดใหญ่ที่มีช่วงความยาวคานมากกว่า 25.0 เมตร สำหรับคานแบบดึงลวดอัดแรงภายหลังนั้นส่วนมากจะมีขนาดใหญ่ การขนส่งค่อนข้างลำบาก จึงต้องทำการหล่อคานในสนามเป็นส่วนใหญ่ การควบคุมการหล่อคานมีดังนี้

ขั้นตอนการหล่อคานคอนกรีต

- ศึกษาแบบรายละเอียดของคานคอนกรีตพร้อมทั้งตรวจระดับของท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง และเหล็กเสริมให้เป็นไปตามที่ผู้ออกแบบได้คำนวณไว้
- ตรวจสอบการติดตั้งสมอยึด(Anchorage) ลวดเหล็กอัดแรง ให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนด
- ตรวจสอบ ตำแหน่ง ระดับ การติดตั้งท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง (Corrugated Sheath) ให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนด
- ท่อร้อยกลุ่มลวดเหล็กอัดแรงต้องมีพื้นที่หน้าตัดภายในไม่น้อยกว่า 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดสุทธิของกลุ่มลวดเหล็กอัดแรง

- ตรวจสอบรอยต่อของท่อร้อยลวดอัดแรงและข้อต่อสำหรับตรวจสอบการอัดน้ำปูน ต้องไม่มีรอยรั่วและแข็งแรงดีพอ
- ตรวจสอบและควบคุมการใช้หัวสั่นสะเทือนในการเทคอนกรีต ไม่ให้กระทบกับท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรงเสียหายเกิดรอยรั่วได้
- ตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อกำหนดก่อนที่ทำการดึงลวดเหล็กอัดแรง
- ควบคุมการดึงลวดเหล็กอัดแรงต้องทำการดึงลวดที่ปลายคานคอนกรีตทั้งสองด้านเป็นไปตามค่าแรงดึงตามแบบกำหนด
- ตรวจสอบการอัดน้ำปูน (Grouting) ต้องเป็นตามหลักเกณฑ์
- ทำความสะอาดภายในท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง โดยการอัดน้ำและอัดลมเพื่อตรวจสอบว่ามีรอยรั่วและข้อต่อระบายน้ำปูน
- น้ำปูนต้องผสมในเครื่องผสมที่ทำงานและกวนส่วนผสมได้อย่างต่อเนื่อง
- อัตราส่วนผสมน้ำปูนเท่ากับปูนซีเมนต์ 50 กก. ต่อน้ำ 17 ลิตร
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Viscosity) ต้องไม่เกิน 13 วินาที โดยใช้กรวยวัดมาตรฐาน
- อุณหภูมิของน้ำปูนขณะที่กำลังอัดน้ำปูนต้องไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส
- เครื่องอัดน้ำปูนต้องมีกำลังแรงดึงไม่น้อยกว่า 5 Bar.
- ต้องใช้สารผสมเพิ่มเพื่อการขยายตัวของน้ำปูนภายในท่อร้อยลวดเหล็กแรงดึง โดยใช้ปริมาณ 100 กรัม เท่ากับปูนซีเมนต์ 50 กก.
- ต้องเก็บแท่งตัวอย่างน้ำปูนที่ปลายท่อร้อยหรือข้อต่อสำหรับให้น้ำปูนไหลออก

ขั้นตอนการตรวจสอบอุปกรณ์การอัดแรง

สมอยึดเหล็กเสริมอัดแรงและหัวต่อ (Coupler)

- ตรวจสอบสมอยึดสำหรับการอัดแรงชนิดยึดเหนี่ยว ต้องสามารถรับแรงได้ไม่น้อยกว่า 90 % ของกำลังประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรง โดยไม่มีการรูดกลับเกินกำหนดเมื่อทดสอบในสภาพไม่ยึดเหนี่ยว อย่างไรก็ตาม ภายหลังที่เหล็กเสริมอัดแรงยึดเหนี่ยวกับองค์อาคารแล้ว สมอยึดจะต้องรับแรงได้ไม่น้อยกว่า 100 % ของกำลังประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรง
- ตรวจสอบสมอยึดและหัวต่อสำหรับระบบอัดแรงชนิดไม่ยึดเหนี่ยวต้องสามารถรับแรงได้ไม่น้อยกว่า 95% ของกำลังประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรง โดยไม่มีการรูดกลับเกินกำหนด
- ตำแหน่งการวางหัวต่อ ต้องได้รับความเห็นชอบจากวิศวกร และต้องอยู่ภายในช่องซึ่งมีขนาดความยาวเพียงพอที่จะไม่ขัดขวางการเคลื่อนที่อันเกิดจากการดึงเหล็กเสริมอัดแรง

- ในงานคอนกรีตอัดแรงชนิดไม่ยึดเหนี่ยวซึ่งต้องรับน้ำหนักบรรทุกซ้ำซาก (Reputed loading) นั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงผลของการล้าของสมอยึดและหัวต่อสมอยึดและอุปกรณ์ที่ปลายเหล็กเสริมอัดแรง ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันต่อการผุกร่อน (Corrosion) อย่างถาวร
- สมอยึดเหล็กเสริมอัดแรงชนิดไม่ยึดหน่วง ต้องมีความสามารถรับแรงกระทำครบวงจรจาก 60% - 66% - 60% ของกำลังดึงประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรงได้ไม่น้อยกว่า 500,000 รอบโดยไม่วิบัติ และสามารถรับแรงกระทำครบวงจรจาก 40% - 80% - 40% ของกำลังดึงประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรงได้ไม่น้อยกว่า 50 รอบโดยไม่วิบัติ

ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง (Corrugated Sheath)
สำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงที่หลัง

- ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงสำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงที่หลังทุกชนิด จะต้องสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำปูนเข้าภายในท่อได้อย่างดี และต้องไม่ทำปฏิกิริยากับคอนกรีตเหล็กเสริมอัดแรง รวมทั้งวัสดุอัดอุดท่อ
- ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงชนิดที่มีการอัดอุดภายหลัง ซึ่งใช้ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงเพียงเส้นเดียวจะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในใหญ่กว่าเหล็กเสริมอัดแรงไม่น้อยกว่า 6.0 มม.
- ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงชนิดที่มีการอัดอุดภายหลัง ซึ่งใช้ร้อยกลุ่มเหล็กเสริมอัดแรง จะต้องมีพื้นที่หน้าตัดภายในไม่น้อยกว่า 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดสุทธิของกลุ่มเหล็กเสริมอัดแรง

การป้องกันการผุกร่อนของเหล็กเสริมอัดแรงชนิดไร้การยึดเหนี่ยว

เหล็กเสริมอัดแรงชนิดไร้การยึดเหนี่ยว จะต้องเคลือบผิวด้วยสารป้องกันการผุกร่อนอย่างทั่วถึง โดยมีคุณสมบัติด้านเสถียรภาพทางเคมี และไม่ทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมอัดแรง มีความคงตัว ไม่เยิ้มไหลหรือแข็งตัวภายใต้อุณหภูมิใช้งาน สามารถป้องกันการผุกร่อนของเหล็กเสริมอัดแรงอย่างได้ผลตลอดระยะเวลาใช้งาน และลดความเสียดทานระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงกับท่อร้อยลวดอัดแรง

การอัดน้ำปูน (Grouting) ของงานคอนกรีตอัดแรงชนิดยึดเหนี่ยว

วัสดุที่ใช้ในการอัดอุด ควรเป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และน้ำ หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายและน้ำ วัสดุต่างๆซึ่งใช้ในการอัดน้ำปูน จะต้องได้ตามข้อกำหนดดังนี้

- ปูนซีเมนต์ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก.15
- น้ำที่ใช้ต้องสะอาด ปราศจากสิ่งซึ่งอาจมีผลกระทบต่อคอนกรีต และเหล็กเสริมอัดแรง

- หากใช้ทรายเป็นส่วนผสมด้วย ต้องใช้ทรายที่เป็นไปตามมาตรฐานสำหรับงานก่อหรืองานฉาบตามมาตรฐาน ASTM C 144 หรือเทียบเท่า ยกเว้นส่วนคละอาจเปลี่ยนแปลงได้ โดยไม่มีอันตรายต่อเหล็กเสริมอัดแรง
- สารผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม ในกรณีที่ยังไม่ประกาศใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม ให้ใช้มาตรฐาน ASTM C 494 และต้องไม่มีอันตรายต่อเหล็กเสริมอัดแรง

ส่วนผสมน้ำปูน

- อัตราส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ จะต้องได้มาจากวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้
- ผลการทดสอบน้ำปูนอัด ทั้งในสภาพที่ยังสดอยู่ และแข็งตัวแล้วก่อนการทำงานจริง
- เอกสารอ้างอิงในเชิงเทคนิคสำหรับลักษณะของวัสดุต่างๆ ตลอดจนอุปกรณ์ที่คล้ายคลึงกันในสภาพที่เทียบเคียงกันได้
- ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม ควรจะน้อยที่สุดเท่าที่จะทำให้การอัดน้ำปูนเป็นไปด้วยดี โดยที่อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักจะต้องไม่เกิน 0.45
- ห้ามเติมน้ำภายหลังเพื่อเพิ่มความเหลวของน้ำปูนอัด ซึ่งลดลงเนื่องมาจากความล่าช้าในการใช้งาน

การผสมและการอัดน้ำปูน

- น้ำปูนอัดต้องผสมในเครื่องซึ่งสามารถทำงานและกวนได้อย่างต่อเนื่องและสามารถก่อให้เกิดการผสมตัวกันของวัสดุต่างๆได้อย่างสม่ำเสมอ น้ำปูนอัดจะต้องมีการกรองผ่านตะแกรง และต้องอัดให้เต็มช่องว่างในท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงได้อย่างสมบูรณ์
- อุณหภูมิขององค์อาคาร ต้องสูงกว่าจุดเยือกแข็งในขณะทำการอัดน้ำปูน และจะต้องรักษาอุณหภูมิให้สูงกว่าจุดเยือกแข็งจนกระทั่ง ตัวอย่าง รูปลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. ของน้ำปูนอัดซึ่งบ่มในสภาพมีกำลังอัดเกิด 55 กก./ตร.ซม.
- หากองค์อาคาร หรือชิ้นส่วนโครงสร้าง ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งก่อนการอัดอุดจะต้องไม่มีน้ำอยู่ภายในท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง
- ก่อนการอัดน้ำปูน ต้องตรวจสอบการรั่วไหลและทำการแก้ไข (ถ้ามี)
- อุณหภูมิของน้ำปูนอัด เมื่อไหลออกจากเครื่องอัดจะต้องไม่สูงกว่า 32 องศาเซลเซียส

การอัดแรงและการวัดขนาดของแรงอัด

- ขนาดของแรงอัด จะต้องวัดทั้งสองวิธีดังนี้
- อ่านขนาดของแรงอัดจากมาตรวัดซึ่งปรับเทียบ (Calibrate) แล้ว หรือจากเซลเทียบน้ำหนัก (Load cell) หรือโดยการใช้ไดนาโมมิเตอร์

- วัดระยะยืดของเหล็กเสริมอัดแรง แล้วหาขนาดของแรงจากเส้นแสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของแรงกับระยะยืดของเหล็กเสริมอัดแรง หากขนาดของแรงที่ได้จากวิธีทั้งสองแตกต่างกันเกินกว่า 5% ต้องทำการตรวจสอบและแก้ไข
- สำหรับงานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงก่อน (Pre-Tensioned) นั้น หากจากถ่ายแรงจากแท่นดึงสู่คอนกรีต กระทำโดยวิธีการตัดเหล็กเสริมอัดแรงที่ละเส้น จุดตัดและลำดับการตัด จะต้องพิจารณาให้ดี เพื่อหลีกเลี่ยงหน่วยแรงชั่วคราวที่ไม่พึงประสงค์
- เหล็กเสริมอัดแรงสำหรับงานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงก่อน ต้องทำการตัดเหล็กเสริมอัดแรงให้ใกล้กับชิ้นส่วน เพื่อลดแรงกระแทกที่อาจเกิดขึ้นกับเนื้อคอนกรีต
- การสูญหายของแรงอัด อันเนื่องมาจากการมิได้ทดสอบเหล็กเสริมอัดแรงซึ่งดึงขาดไป จะมีไม่เกิน 2 % ของแรงอัดทั้งหมดของส่วนองค์อาคารที่พิจารณา ทั้งนี้ต้องไม่ให้เกินความวิบัติเฉพาะจุด (Load failure) ในองค์อาคาร

การจัดวางเหล็กเสริมอัดแรง

- เหล็กเสริมในงานคอนกรีตอัดแรง ทั้งชนิดเหล็กเสริมอัดแรงและเหล็กเสริมธรรมดา รวมทั้งท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง จะต้องวางในตำแหน่งที่ถูกต้องตามที่กำหนดในแบบ และมีการจับยึด หรือรองรับอย่างมั่นคงทั้งก่อนและระหว่างการเทคอนกรีต ความคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่กำหนดในแบบให้เป็นไปตามรายละเอียดในหัวข้อถัดไป
- ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของระยะจากผิวนอกสุดด้านที่เป็นแรงอัดถึงศูนย์กลางของเหล็กเสริมอัดแรง d ให้เป็นไปตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของการวางเหล็กเสริมอัดแรง

ความหนาของชิ้นส่วน h	ความคลาดของเหล็กเสริมอัดแรง	
	แนวดิ่ง	แนวราบ
ไม่เกินกว่า 400 มม.	$\pm \frac{h}{4}$ มม.	± 20 มม.
มากกว่า 400 มม.	± 10 มม.	± 20 มม.

ระยะห่างของการจัดเหล็กเสริมอัดแรงและท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง

- ในงานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อน ระยะห่างสุทธิระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงที่ปลายของชิ้นส่วนจะต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางระบุสำหรับลวดเหล็ก อัดแรง หรือ 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางระบุสำหรับลวดเกลียวอัดแรง แต่ทั้งนั้น ระยะห่างสุทธิดังกล่าวต้องไม่น้อยกว่า 3/4 เท่าของขนาดมวลรวมหยาบที่ใหญ่ที่สุด ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมที่น้อยกว่านี้ หรือการรวมกลุ่มของเหล็กเสริมอัดแรง อาจยอมให้กระทำได้ในส่วนที่อยู่ใกล้กึ่งกลางช่วงความยาว

- ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงสำหรับงานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กที่หลัง อาจรวมกลุ่มกันได้ถ้าสามารถแสดงให้เห็นว่า การเทคอนกรีตสามารถกระทำได้อย่างดี และมีการป้องกันมิให้เหล็กเสริมอัดแรงที่ถูกดึงแล้วแตกทะลุท่อร้อยออกมาได้

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม

- ระยะคอนกรีตหุ้มที่น้อยที่สุดสำหรับเหล็กเสริมธรรมดา เหล็กเสริมอัดแรง ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง และอุปกรณ์ยึดเหล็กเสริมในงานคอนกรีตอัดแรงเป็นดังนี้ (ยกเว้นที่ระบุไว้ในข้อถัดไป)

ชนิดชิ้นส่วนและสภาวะแวดล้อม	ระยะคอนกรีตหุ้มที่น้อยที่สุด(มม.)
ก. คอนกรีตซึ่งหล่อกับดินและสัมผัสกับดินตลอดเวลา	75
ข. คอนกรีตซึ่งสัมผัสดินหรือบรรยากาศภายนอก ผนัง พื้น ตง ชิ้นส่วนชนิดอื่น	25
ค. คอนกรีตซึ่งไม่สัมผัสดินหรือบรรยากาศภายนอก ผนัง พื้น ตง คานเสา	38
เหล็กเสริมหลัก	20
เหล็กปลอก	38
โครงสร้างเปลือกบาง (Shell) หลังคาจีบ	25
เหล็กเสริมธรรมดา 16 มม. และเล็กกว่า	10
เหล็กเสริมอื่นๆ	เท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางระบุ แต่ไม่น้อยกว่า 20 มม.

- สำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงซึ่งสัมผัสกับดิน บรรยากาศภายนอก หรือสภาพแวดล้อมที่รุนแรงและใช้หน่วยแรงดึงที่ยอมให้มากเกินกว่า $1.59\sqrt{f'_c}$ และระยะคอนกรีตหุ้มที่น้อยที่สุด จะต้องเพิ่มขึ้นจากข้อด้านบนอีกร้อยละ 50

การควบคุมการวางคาน

- ตรวจสอบระยะ ระดับของ Bearing Support ให้ถูกต้อง
- ตรวจสอบระยะระหว่างตอม่อ (Span) ให้ถูกต้องเนื่องจากตอม่ออาจเคลื่อนตัวผิดไปจากตำแหน่งเดิม
- ตรวจสอบวิธีวางคานและประสิทธิภาพของเครื่องจักรว่าเหมาะสมหรือไม่
- ตรวจสอบความแข็งแรงของพื้นที่ ที่จะใช้ในการวางคาน
- ก่อนที่จะนำคานไปวางยังตำแหน่งให้ตรวจสอบหมายเลขและทิศทางการวางคานที่หน้างานอีกครั้งหนึ่งให้ถูกต้อง
- ควบคุมระยะของปลายคานทั้งสองที่วางอยู่บน Cantilever Deck รับคานนั้นให้มีระยะห่างพอดีตามข้อกำหนด

4.2.3 คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น (Cantilever Deck)

คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น เป็นโครงสร้างส่วนบนของเสาตอม่อที่ทำหน้าที่รองรับคานออกแบบเพื่อเพิ่มความยาวช่วงสะพาน หรือลดความยาวของคานคอนกรีตอัดแรง มีรูปแบบเป็น คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบตัน(Solid Type) หรือคานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบกลวง (Hollow Type)

ก่อนเริ่มดำเนินการให้ผู้รับจ้างเสนอแบบสำหรับก่อสร้าง (Shop Drawings) โดยมีรายละเอียด ได้แก่ ความสูงช่องลอด ระดับหัวเสา ระดับบ่ารองรับคาน ระดับหลังพื้นสะพาน (Finished Grade) ค่าพิกัด (Coordinate) รายละเอียดการเสริมเหล็ก ลำดับขั้นตอนการทำงาน พร้อมแบบและรายการคำนวณการรับน้ำหนักของนั่งร้าน

กรณี เป็นคานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ให้ผู้รับจ้างนำเสนอรายละเอียด พร้อมขั้นตอน และวิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนด

4.2.3.1 การก่อสร้างคานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น แบบตัน (Solid Type)

คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น แบบตัน (Solid Type) เป็นโครงสร้างคอนกรีตชิ้นเดียว ยื่นออกโดยรอบหัวเสา ทำหน้าที่รองรับคาน โดยมีส่วนบนเป็นพื้นสะพาน

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบความแข็งแรงของฐานรากที่รองรับนั่งร้านให้สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่คำนวณไว้
- ตรวจนั่งร้านให้เป็นไปตามแบบที่ได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงาน
- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กะบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ (Abrasion) และความสะอาดของหิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
- ตรวจสอบตำแหน่งและระดับ เพื่อประกอบแบบพื้นล่าง โดยเผื่อการทรุดตัวของนั่งร้าน
- ตรวจแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง

- ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนด
- กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ตรวจแนวและระดับของท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง การติดตั้งสมอยึด (Anchorage) ให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนด
- ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน
- ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง (Bar Chair) รองรับให้แข็งแรง ไม่ทรุด
- ตรวจการติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ เพื่อตรวจสอบการทรุดตัวของนั่งร้าน ในระหว่างการเทคอนกรีต
- ตรวจ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ท่อระบายน้ำ และท่อร้อยสายไฟฟ้าแสงสว่าง ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ
- จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

งานเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) ตามข้อกำหนด
- ควบคุมที่โรงงานผสมคอนกรีต ตรวจสอบเวลาในการผสม (Mixing Time) ให้เหมาะสม
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด
- ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)
- กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ต้องควบคุมไม่ให้เครื่องมือ อุปกรณ์ทำให้คอนกรีตแน่นตัว กระทบท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง

- ขณะเทคอนกรีต ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด โดยเขียนรายละเอียดลงในเนื้อคอนกรีต
- การเทคอนกรีตควรเทเป็นชั้น อย่างต่อเนื่อง และเทให้กระจายสม่ำเสมอ หากมีเศษคอนกรีตที่ติดค้างที่เหล็กเสริมด้านบนต้องขจัดออกทันที
- ก่อนเทคอนกรีตใหม่ เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตใหม่
- ขณะที่เทคอนกรีต ต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม
- กรณี นั่งร้านมีการทรุดตัวมากผิดปกติ ให้ผู้รับจ้างดำเนินการแก้ไขโดยทันที
- แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 2 ข้อ 5.1.11

งานหลังเทคอนกรีต

- ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
  - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
  - แบบประกอบรองรับท้องคาน พื้น 14 วัน
  - กรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน
- ตรวจสอบผลทดลองความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที
- กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ควบคุมการดึงลวดเหล็กอัดแรงให้ได้แรงตามข้อกำหนด และเป็นไปตามลำดับ ตรวจสอบการอัดน้ำปูนข้นที่ผสมสารเพิ่มการขยายตัว เก็บตัวอย่างน้ำปูนเพื่อตรวจสอบการขยายตัว และเก็บแท่งตัวอย่างเพื่อทดสอบความสามารถการรับแรงอัด ห้ามวางคานก่อนน้ำปูนแข็งตัว
- การวางคาน ผู้รับจ้างต้องเสนอขั้นตอนและวิธีการต่อผู้ควบคุมงานก่อน ในกรณีวางคานเพียงด้านเดียว ต้องวางน้ำหนักด้านที่จะวางคานภายหลัง เพื่อป้องกันความเสียหายต่อโครงสร้าง

4.2.3.2 การก่อสร้างคานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น แบบกลวง (Hollow Type)

คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น แบบกลวง (Hollow Type) เป็นโครงสร้างคอนกรีตที่ มีลักษณะเป็นกล่องด้านในตามความยาวสะพาน ประกอบไปด้วย คานหัวเสา (Crosshead) พื้นล่าง (Bottom Slab) คานหลัก (Web) คานซอย (Diaphragm) และพื้นบน (Top Slab)

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบฐานรากรองรับรองรับนั่งร้านให้สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่คำนวณไว้
- ตรวจการประกอบนั่งร้านตามแบบที่กำหนดไว้ โดยตรวจสอบจุดต่อให้แข็งแรง
- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กะบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ (Abrasion) และความสะอาดของหิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
- กำหนดตำแหน่งและระดับ เพื่อประกอบแบบพื้นล่าง โดยเผื่อการทรุดตัวของนั่งร้าน
- ติดตั้งท่อระบายน้ำพื้นล่าง (Bottom slab) ตามที่แบบกำหนด
- ตรวจแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง
- ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนด
- กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ตรวจแนวและระดับของท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง การติดตั้งสมอยึด (Anchorage) ให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนด
- ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน
- ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง (Bar Chair) รองรับให้แข็งแรง ไม่ทรุด
- ตรวจการติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ เพื่อตรวจสอบการทรุดตัวของนั่งร้าน ในระหว่างการเทคอนกรีต

- ตรวจ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ท่อระบายน้ำ และท่อร้อยสายไฟฟ้าแสงสว่าง ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ
- จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

งานเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) ตามข้อกำหนด
- ควบคุมที่โรงงานผสมคอนกรีต ตรวจสอบเวลาในการผสม (Mixing Time) ให้เหมาะสม
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด
- ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)
- กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ต้องควบคุมไม่ให้เครื่องมือ อุปกรณ์ทำให้คอนกรีตแน่นตัว กระทบท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง
- ขณะเทคอนกรีต ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด โดยเขียนรายละเอียดลงในเนื้อคอนกรีต
- การเทคอนกรีตโครงสร้าง คานหัวเสา (Crosshead) คานหลัก (Web) คานซอย (Diaphragm) ควรเทเป็นชั้น อย่างต่อเนื่อง และเทให้กระจายสม่ำเสมอ หากมีเศษคอนกรีตที่ติดค้างที่เหล็กเสริมด้านบนต้องขจัดออกทันที
- ก่อนเทคอนกรีตใหม่ เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการรากน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตใหม่
- ขณะที่เทคอนกรีต ต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม
- กรณี นั่งร้านมีการทรุดตัวมากผิดปกติ ให้ผู้รับจ้างดำเนินการแก้ไขโดยทันที
- แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด

- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 2 ข้อ 5.1.11

งานหลังเทคอนกรีต

- ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
  - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
  - แบบประกอบรองรับท้องคาน พื้น 14 วัน
  - กรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน
- ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที
- ตรวจสอบท่อระบายน้ำพื้นล่าง (Bottom slab) หากอุดตันต้องทำการแก้ไขทันที
- กรณีคานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ควบคุมการดึงลวดเหล็กอัดแรงให้ได้แรงตามข้อกำหนด และเป็นไปตามลำดับ ตรวจสอบการอัดน้ำปูนข้นที่ผสมสารเพิ่มการขยายตัว เก็บตัวอย่างน้ำปูนเพื่อตรวจสอบการขยายตัว และเก็บแท่งตัวอย่างเพื่อทดสอบความสามารถการรับแรงอัด ห้ามวางคานก่อนน้ำปูนแข็งตัว
- การวางคานให้ผู้รับจ้างเสนอขั้นตอนและวิธีการต่อผู้ควบคุมงานก่อน ในกรณีวางคานเพียงด้านเดียว ต้องวางน้ำหนักด้านที่จะวางคานภายหลัง เพื่อป้องกันความเสียหายต่อโครงสร้าง

4.2.4 คานพื้นสะพานระบบ Segment

รูปแบบการก่อสร้างสะพานได้มีการพัฒนารูปแบบจากคาน Box–Girder, I–Girder หรือ Multi–Beam มาเป็น Segment โดยใช้กระบวนการหล่อชิ้นส่วนแต่ละชิ้นในแบบหล่อที่ทำขึ้นเป็นพิเศษ (Casting Mould) มีแบบปิดคงที่ ที่ด้านหัวของชิ้นส่วน (Bulkhead) ในขณะที่อีกด้านหนึ่งจะมีชิ้นส่วนที่หล่อแล้วเสร็จมาวางติดกัน เพื่อเป็นแบบให้อีกด้าน ซึ่งเรียกกระบวนการผลิตนี้ว่า Short Line Match Casting Method โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

- ก่อนดำเนินก่อสร้าง ผู้รับจ้างต้องเสนอแบบรายละเอียดสำหรับก่อสร้าง (Shop Drawings) รายการคำนวณ (Calculation Sheets) ผู้ผลิตหรือผู้แทนจำหน่าย (Supplier) และข้อกำหนด (Specification) ให้ทางโครงการตรวจสอบเพื่อเสนอขอความเห็นชอบจากสำนักสำรวจและออกแบบ หรือเป็นไปตามที่แบบกำหนด
- ตรวจสอบการจัดเตรียมเหล็กเสริม ตามขนาด และความยาวต่างๆ ที่ระบุไว้ใน Shop Drawings และกองเก็บไว้เพื่อนำไปประกอบเป็นโครงเหล็กเสริมของ

Segment ใน Rebar Jig ซึ่งการกองเก็บนี้ต้องทำในพื้นที่ที่มีหลังคา หรือผ้าใบคลุมเพื่อป้องกันฝน หลังจากนั้นจะยกชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นรูป Segment ใน Rebar Jig เข้าในแบบหล่อโดยTower crane

- ตรวจสอบโรงดัดเหล็กเสริม ชนิด ขนาด ของลวดอัดแรงและอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ของ Post Tensioning System ที่จะนำมาใช้งาน
- ตรวจสอบการติดตั้งแบบหล่อด้านล่าง (Bottom Form) ตามกระบวนการผลิตโดยวิธี Short Line Match Casting Method โดยใช้การสลับตำแหน่งของ Segment เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนเปลี่ยนตำแหน่ง โดยนำ Segment ที่หล่อแล้วเสร็จมาทำหน้าที่เป็นแบบให้กับ Segment ตัวใหม่
- ควบคุมการย้าย New Segment มาอยู่ในตำแหน่ง Match Cast ด้วยชุดล้อเลื่อนและแบบหล่อด้านล่างยังอยู่ลักษณะเดิม นำแบบหล่อด้านล่างของ Old Segment มาวางใน New Segment เพื่อหล่อตัวใหม่ต่อไป แบบหล่อด้านล่าง (Bottom Form) นี้ มี Jack 4 ตัว รองรับในตำแหน่งเดิม อาจจะต้องมีการปรับแก้ค่าระดับและแนวเล็กน้อย ในกรณีที่ Bottom Form มีการเคลื่อนตัวเอียงไป แนว Center Line ของแบบหล่อด้านกับแนวสำรวจความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 มม.
- ตรวจสอบระดับและแนวของ Match cast เมื่อเคลื่อนย้าย Segment จากตำแหน่ง New Segment เข้าประจำในตำแหน่ง Match Cast เรียบร้อยแล้วจึงทำการปรับค่าระดับ และแนว Center Lineของ Match Cast Segment ให้ถูกต้อง การตรวจสอบค่าระดับจะตรวจสอบ จากหมุดควบคุม (Pin Point Survey) บน Deck Slab จำนวน 6 ตำแหน่ง โดยสมมุติว่าจุดทั้ง 6 จุด บน Deck Slab นี้ไม่ได้รับผลกระทบจากการโก่งตัว อันเนื่องมาจากการดึงลวดอัดแรงตามขวาง หรือการหดตัวของคอนกรีต
- ตรวจสอบค่าระดับ ต้องมีความละเอียดวัดได้ถึง 0.1 มิลลิเมตร
- เมื่อจุดควบคุมต่างๆ อยู่ในระดับที่ต้องการ ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่า Hydraulic Jack ทั้งหมด ได้ถูกยึดแน่นไว้อย่างดีด้วยแหวนล็อค และจะไม่เกิดการทรุดตัวของ Segment และต้องตรวจสอบแนว Center Line อีกครั้ง ความคลาดเคลื่อนของค่าระดับไม่เกิน 0.50 มม.
- ตรวจสอบตำแหน่ง แนว และค่าระดับ ของแบบปิดท้าย (Bulkhead) แบบปิดท้าย (Bulkhead) เป็นชิ้นส่วนที่ติดตั้งให้อยู่กับที่ซึ่งไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ก่อนทำการหล่อ Wet Segmentแต่ละครั้งต้องตรวจสอบแนว ระดับ และตำแหน่งของแบบปิดท้าย ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากการหล่อในครั้งก่อน
- ควบคุมการติดตั้งแบบด้านนอก (External Form หรือ Side Form) ที่ติดตั้งอยู่ด้านข้างทั้งสองด้าน โดยแต่ละด้านสามารถปรับระดับขึ้นลงได้ ซึ่งช่วยในการเลื่อน New Segment ออกมาได้โดยไม่เสียหาย เมื่อกำหนดค่าระดับ และแนวของ Match Cast แล้วเสร็จ จึงทำการปรับเลื่อน External Form เข้าสู่ตำแหน่งจะมีระยะซ้อนทับ

กับ Match Cast (New Segment) อยู่ประมาณ 10 Cm. การประกบแบบด้านนอกกับ Match Cast (New Segment) ต้องให้แนบสนิท และอุดช่องว่างด้วยซิลิโคนเพื่อป้องกันการ รั่วไหลของน้ำปูน ขณะเทคอนกรีต ภายหลังการจัดตำแหน่ง External Form เรียบร้อยแล้ว จะทำการยึดตำแหน่งอุปกรณ์ชุดปรับให้มั่นคงแข็งแรง และให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดการทรุดตัว

- ควบคุมการติดตั้งแบบด้านใน (Inner Form) จะต้องติดตั้งไว้บนรางเลื่อนสามารถเคลื่อนเข้า-ออก บริเวณแกนกลางของ Segment ได้ การเลื่อน Inner Form เข้าที่จะกระทำในขณะที่ Tower Crane กำลังยกเหล็กเสริม ก่อนการติดตั้ง Inner Form ต้องติดแถบฟองน้ำบน Match Cast (New Segment) ตรงบริเวณที่ซ้อนทับกับแบบหล่อ เพื่อป้องกันน้ำปูนไหลออกขณะเทคอนกรีต เมื่อเคลื่อน Inner Form เข้าไปในระยะที่ทำการปรับระดับด้วย Hydraulic Jack ส่วนปลายคาน Inner Form เข้าไป จะค้ำอยู่บนพื้นว่างของ New Segment เมื่อ Inner Form มีการค้ำยันมั่นคงดีแล้ว จึงวางโครงเหล็กลง โดยมีลูกปูนผูกรองรับไว้เรียบร้อยแล้ว (ระยะหุ้ม 30 มิลลิเมตร 4-5 ชิ้นต่อตารางเมตร)

งานเทคอนกรีต

ควบคุมการเทคอนกรีตในส่วน Bottom Slab ก่อนโดยเว้นด้านครึ่งบนและด้านข้างที่อยู่ใต้ Webทั้งสองข้างไว้ โดยมีขันตอนดังนี้

- เทคอนกรีตในส่วน Web โดยเทผ่านท่อที่ยาวถึงด้านล่าง ซึ่งต่อเนื่องกับ Bottom Slab จนกระทั่ง บริเวณมุมระหว่าง Web และ Bottom Slab คอนกรีตแต่ละชั้นต้องสูงไม่เกิน 1 เมตร จากนั้นย้ายไปเทคอนกรีตชั้นที่ 2 เต็ม แต่งคอนกรีตส่วนที่ทะลักเกินบริเวณมุมออกมาซึ่งนี้เป็น สาเหตุที่ต้องเหลือพื้นที่ ส่วนหนึ่งของ Bottom Slab ไว้ พร้อมทั้งจี้คอนกรีตให้ไหลเต็มแล้วย้ายไปทำเช่นเดียวกับ Web อีกข้างหนึ่ง ซึ่งสมมุติเรียกคอนกรีตชั้นนี้ ใน Web เป็นชั้นที่ 1 ในส่วนของ Web
- เมื่อเสร็จชั้นที่ 1 ของ Web ทั้งสองข้างแล้วจึงกลับมาเทใน Web ข้างที่เทครั้งแรกต่อไปอีกเป็นชั้นที่ 2
- เทคอนกรีตชั้นต่อๆ ไปใน Web ทั้ง 2 ข้างสลับไปมา จนกระทั่งเต็มถึงด้านบน การเทสลับเพื่อรักษาสมดุลของน้ำหนักที่กระทำต่อแบบ Web ทั้ง 2 ข้าง

ขั้นตอนการติดตั้ง (Erection)

- ควบคุมการติดตั้ง Pot Bearing ใน Column เดียวกันจะมี 2 แบบ Bearing ข้างหนึ่งจะเป็นแบบ Fix อีกข้างจะเป็นแบบ Free โดยทำการติดตั้งลงในรูซึ่งได้ Block out เตรียมไว้ล่วงหน้า แล้วตรวจสอบให้ได้แนวและค่าระดับ และ Grout ที่ด้านล่างของ Bearing แล้วตั้ง Pre-Set ตามค่าที่แบบกำหนด
- ควบคุมการติดตั้ง Pier Segment วาง Hydraulic jacks จำนวน 4 ตัวบน Pier bracket และอีก 4 ตัวบน Columnโดยให้ตำแหน่งของ Jacks บน Column ใกล้กับตำแหน่งของ Pot bearings มากที่สุด ใช้ Crane ยก Pier Segment วางบน Jacks

ที่อยู่บน Pier bracket ตรวจสอบตำแหน่งของ Pier Segment ถ้าพบว่าคลาดเคลื่อนจากแนวมากกว่า 25 mm. ให้ทำการยกและปรับแนวใหม่

- เมื่อตรวจสอบแนวและระดับเรียบร้อยแล้วใส่ Tie Down Bars ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 32 mm. แล้วดึงด้วยแรงขนาด 45 ตันปรับ Hydraulic Jacks ทั้ง 4 ตัวบน Column ขึ้นจนกว่า Jacks จะสัมผัสผิวล่างของ Segment แล้ว Lock ด้วย Safety Ring

4.2.5 พื้นสะพาน (Deck Slab)

พื้นสะพานที่ก่อสร้างบนคานคอนกรีตอัดแรงที่เรียกว่า Deck Slab ซึ่งมักเป็นพื้นคอนกรีตบนคานคอนกรีตอัดแรง มีทั้งหลายช่วง Span เป็นพื้นชนิดต่อเนื่องกัน (Continuous Deck Slab) หรือเรียกว่า Link Slab และเป็นพื้นในแต่ช่วง Span (Simple Span) เรียกว่า Simple Deck Slab

ก่อนการก่อสร้างพื้นสะพานของสะพานคอนกรีตอัดแรงให้ดำเนินการควบคุมการเชื่อมยึดคานที่วางรับพื้น ก่อนให้เรียบร้อยโดยตรวจสอบจากแบบก่อสร้างว่าให้ก่อสร้างคานยึด (Cross Beam) ระหว่างคาน ขนาดกว้าง ยาว สูงเท่าไร การสอดเหล็กใส่ยึดในช่องระหว่างคานให้ครบ และเชื่อมต่อกันให้แน่นตามแบบ ก่อนที่จะเข้าแบบ และเทคอนกรีตต่อไป จากนั้นจึงทำการก่อสร้างพื้นสะพานได้ การตรวจสอบควบคุมการก่อสร้างพื้นสะพานมีดังนี้

ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

แบบหล่อพื้นสะพาน ใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูป (Precast Form)

ปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้เพราะทำงานสะดวก ลดเวลาและขั้นตอนการทำงาน มีหลักการสำคัญในการตรวจสอบและปฏิบัติ ดังนี้

- ตรวจสอบขนาดแผ่นพื้นสำเร็จให้ถูกต้อง ไม่มีรอยแตกหักและต้องมีรายการคำนวณการรับน้ำหนักของ Precast Form ที่นำมาใช้ สำหรับงานก่อสร้างสะพานในปัจจุบันกำลังรับน้ำหนักของ Precast Form เป็นแบบหล่อต้องไม่น้อยกว่า 750 kg./m^2 ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ ให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างกำหนด
- ตรวจสอบทิศทางและตำแหน่งการวาง Precast Form ปลายของ Precast Form จะต้องวางอยู่บนที่รองรับหลังคาน โดยให้เกยเข้ามาไม่น้อยว่า 7.5 cm. และใช้ Mortar ปรับระดับให้ได้ตามแบบและตบแต่งให้เรียบ
- อุดรอยต่อระหว่าง Precast Form โดยใช้แผ่นพลาสติกรองที่รอยต่อเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึมแล้วจึงใช้ Mortar อุดปิดทับรอยต่อก่อนที่จะทำการหล่อคอนกรีตพื้นสะพานตามแบบ
- ตรวจสอบระดับการติดตั้งโดยให้มีระดับความหนาของพื้นคอนกรีตที่หล่อทับบน Precast Form คงที่และเป็นไปตามแบบอาจใช้ Mortar หนุนเสริมใต้ Precast Form เพื่อให้วางอยู่ในระดับ Grade line ตลอดซึ่งทำให้ระดับความหนาของพื้นคอนกรีตที่หล่อคงที่ได้

แบบหล่อพื้นสะพานตงคอนกรีตสำเร็จรูป

ลักษณะจะเป็นคานขวางคู่จัดเป็นชุดๆ กล่าวคือ คู่ล่างจะวางบนปีกล่างของคานคอนกรีตอัดแรง แล้วใช้ค้ำยันเหล็กปรับระดับ (Shoring) วางพาดบนคานคู่ล่างเพื่อรองรับคานคู่บน ซึ่งจะใช้เป็นตงรับแผ่นผิวท้องแบบ และขาค้ำยันที่ใช้พื้นปลายล่างจะมีแป้นเพื่อวางบนคาน และมีแป้นล็อครูปตัวยูเพื่อรองรับคานตัวบน ส่วนขาประกอบด้วย ท่อสองส่วนสอดกัน มีน็อตและสกรู ปรับระดับตามต้องการ และสามารถใช้ลดระดับเพื่อการถอดแบบอีกด้วย

แบบหล่อพื้นสะพานนั่งร้านไม้

ลักษณะการก่อสร้างจะเป็นคานไม้ขนาด 5″ วางพาดระหว่างปีกล่างคานคอนกรีตอัดแรงแล้วปูไม้ 1″ x 6″ เพื่อรองรับเสาไม้ขนาด 5″ ที่ตั้งขึ้นเพื่อรองรับตงไม้และมีไม้ 1″ x 3″ ค้ำยันทแยงเพื่อกันการเกิดการเคลื่อนตัวด้านข้างระหว่างเสา และจะมีคานขนาด 1″ x 6″ วิ่งยาวตลอดแนวคาน ตงไม้ขนาด 1″ x 4″ รองรับพื้นไม้ขนาดไม้ 1″ x 4″ และด้านบนสุดใช้ไม้อัดขนาด 4 มม. ปูให้ผิวท้องพื้นเรียบตามแบบกำหนด

แบบหล่อพื้นสะพานทั้งสองแบบข้างต้น ต้องตรวจสอบความมั่นคง แข็งแรงของค้ำยันและโครงสร้างรองรับน้ำหนัก และเป็นไปตามที่คำนวณออกแบบไว้

ตรวจสอบการจัดวางเหล็กเสริมพื้นคอนกรีต

การเสริมเหล็กเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งมีขั้นตอนการตรวจสอบ ดังนี้

- ตรวจสอบการจัดวางเหล็กเสริมหลัก ให้มีขนาด ความยาว ตำแหน่ง ทิศทาง ตามแบบกำหนด
- ตรวจสอบเหล็กเสริมพิเศษ บนหลังคาน หรือจุดรับกำลังอื่นๆ ตามแบบกำหนด
- ตรวจสอบระยะ Covering ระหว่างเหล็กกับผิวคอนกรีตทั้งด้านล่างและด้านบนให้เพียงพอ ส่วน Covering ด้านบนควรต้องเผื่อ เพื่อให้เพียงพอกับการวางเหล็กระดับด้านบนด้วย และ Covering ด้านล่างต้องมีลูกปูนหนุนเพื่อให้ได้ระยะ Covering ตามกำหนด

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบการลดระดับของบ่ารับคานบริเวณตอม่อที่เผื่อไว้สำหรับการโก่งของคานให้ถูกต้องเพื่อการเทคอนกรีตให้ได้ระดับและความหนาของพื้นสะพานที่กึ่งกลาง Span ตามแบบต่อไป ทั้งนี้ให้ถือว่าระดับที่ลดเผื่อนั้น คือ ระยะที่คานโก่งสูงสุดบริเวณกึ่งกลางคาน
- ตรวจสอบระดับพื้นคอนกรีตก่อนการเทให้ถูกต้อง โดยต้องเผื่อระดับ (Camber) เนื่องจากการทรุดตัวของนั่งร้านและน้ำหนัก Dead load ตามภาพแสดงในภาคผนวก และใช้เหล็กระดับที่แข็งแรงพอเป็นระดับอ้างอิงที่ใช้เท (ส่วนใหญ่ใช้ท่อเหล็กแป๊บ) ซึ่งมีความยาวเพียงพอตลอดแนวการเทตามแนวขวางหรือตามแนวขนานกับ Traffic Direction โดยต้องจัดวางด้วยระยะ (Spacing) ในแนวขนานหรือตั้งฉากกับแนว Traffic Direction ตามลำดับและไม่ให้ระยะเกินกว่า

ความสามารถของคนงานที่ใช้ไม้สามเหลี่ยมปาดแต่งระดับ และขาหยั่ง (Bar Chair) เหล็กระดับต้องเชื่อมยึดให้มั่นคง และติดตั้งตามจำนวนที่เหมาะสม

- ตรวจสอบแนว ระดับของแบบพื้นรวมทั้งระยะเผื่อการทรุดตัว
- ตรวจสอบระดับของพื้นบนที่จะเทให้ถูกต้องตามแบบและความหนาให้ได้
- ตรวจสอบค้ำยันรองรับพื้นแบบบนคานที่จะเท การฝัง Bolt, Nut กับคานให้แน่นและแข็งแรง
- ตรวจสอบการเสริมเหล็ก ชนิด ชั้นคุณภาพ จำนวน ระยะห่างและตำแหน่งให้ถูกต้องตามแบบ
- ตรวจสอบขนาดและระยะห่างของเหล็กที่เสียบไว้สำหรับยึดราวสะพาน และท่อต่าง ๆ ตามแนวและตำแหน่งที่กำหนด
- ตรวจสอบระบบการระบายน้ำบนพื้นสะพาน
- ตรวจสอบความสะอาดของแบบพื้นก่อนเทคอนกรีต
- ตรวจสอบรอยต่อบนพื้นสะพานให้ถูกต้องตามแบบ

งานเทคอนกรีต

- ควบคุมให้ทำการเทคอนกรีตในแนวตั้งฉากหรือขนานกับ Traffic Direction จากส่วนล่างไปหาส่วนบนที่ระดับเหนือกว่าและในขณะเดียวกันเริ่มจาก Grade ต่ำไปหา Grade ที่สูงกว่า ทั้งนี้จะเทตามขวาง (ตั้งฉาก) หรือตามยาว(ขนาน)กับแนว Traffic Direction ให้พิจารณาถึงช่วง Span ที่เหมาะสมและชนิดของพื้นสะพานด้วย โดยให้เทตามช่องของเหล็กระดับที่จัดวาง
- ตรวจสอบคอนกรีตที่จะเทบริเวณเดียวกันนั้นให้มีความข้นเหลว (Slump) คงที่เหมือนกัน
- ควบคุมการจี้คอนกรีตให้ถูกวิธีตามมาตรฐานและห้ามจี้คอนกรีตที่เริ่มก่อตัวแล้ว
- ให้ใช้ตัวรีด ปรับระดับคอนกรีตที่เทให้เป็นไปตามระดับที่ให้ไว้ (ตัวรีดคอนกรีตเหมือนกับที่ใช้ในงาน Concrete Pavement) โดยให้ตัวรีดวางในแนวตั้งฉากกับ Traffic Direction หรือวางในแนวตั้งฉากกับเหล็กระดับนั้นเอง และทิศทางการไสรีดก็อยู่ในแนวนี้เช่นกัน
- ควบคุมการเทคอนกรีต โดยเฉพาะวัสดุ Non-Shrink Concrete

งานหลังเทคอนกรีต

- ควบคุมการปาดแต่งระดับโดยให้ใช้อุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเพียงพอที่จะกดปาดแต่งระดับได้ เช่น ไม้สามเหลี่ยม ขนาดประมาณ 1.5 – 2.0 เมตร การปาดแต่งระดับต้องให้ระดับที่ปาดแต่งพอดีกับระดับของเหล็กระดับที่วางไว้ถ้าต่ำไปให้เสริมคอนกรีตเพิ่มเข้าไป ถ้าสูงไปให้พยายามกดแล้วปาดคอนกรีตออกก่อนที่จะปาดแต่งระดับอีกครั้งหนึ่ง

- การขัดแต่งผิวหน้าให้กระทำเมื่อคอนกรีตก่อตัวไปแล้วพอสมควรแต่บริเวณผิวหน้าต้องไม่แห้งถึงขั้นที่ขัดแต่งไม่ได้ สังเกตได้จากยังมีส่วนที่เป็นน้ำจากคอนกรีตอยู่บริเวณผิว
- การขีดเส้นแต่งผิวหน้าให้รีบกระทำหลังจากขัดแต่งผิวหน้าก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว
- การบ่มคอนกรีตต้องให้สม่ำเสมอทั่วถึงกันตลอดพื้นที่ที่เทคอนกรีตแล้วเสร็จ
- การถอดแบบและค้ำยันแบบให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตได้อายุมากพอหรือตามที่กำหนดไว้
- การตรวจสอบระดับพื้นสะพานที่เทเสร็จแล้วอีกครั้งหนึ่งเพื่อดูว่าการเผื่อระดับไว้ก่อนเทคอนกรีตนั้นถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องให้ปรับเพิ่ม-ลด ตามความเหมาะสมเพื่อให้ระดับพื้นหลังก่อสร้างเสร็จเป็นไปตามแบบ

4.2.6 รอยต่อพื้นสะพาน (Expansion Joint)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้เกิดการยืดและหดตัวของพื้นสะพาน ซึ่งการยืดตัวและหดตัวมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาก่อสร้างพื้นสะพาน และความยาวช่วงของพื้นสะพาน รวมทั้งลักษณะพื้นสะพานที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ ปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบและวัสดุเพื่อติดตั้งที่รอยต่อพื้นสะพาน ผลิตสำเร็จรูปจากโรงงานเป็นหลายรูปแบบ สามารถพิจารณาเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับขนาดความกว้างของรอยต่อพื้นสะพาน และได้ออกแบบโดยใช้แผ่นยางสังเคราะห์เป็นส่วนประกอบป้องกันน้ำไหลผ่านรอยต่อพื้นสะพาน

การเตรียมงานก่อสร้าง

- ศึกษารูปแบบการก่อสร้าง และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องโดยละเอียด
- เสนอ ชนิด รูปแบบ วิธีการติดตั้งและเอกสารประกอบ Expansion Joint ให้สำนักสำรวจและออกแบบ พิจารณาและให้ความเห็นชอบก่อนนำไปใช้งาน
- ส่งตัวอย่างวัสดุเพื่อทดสอบคุณสมบัติตามข้อกำหนดในแบบ

ขั้นตอนการก่อสร้าง

- ตรวจสอบตำแหน่งและขนาด Block Out Concrete บริเวณรอยต่อพื้นสะพานที่ทำการติดตั้ง Expansion Joint
- ควบคุมการใส่หินคลุกหรือวัสดุอื่นให้เต็มพื้นที่ที่ Block Out Concrete บดอัดให้แน่น
- ปูแอสฟัลต์คอนกรีตบนพื้นสะพานโดยต่อเนื่องตามแบบกำหนด (ถ้ามี) รวมทั้งบริเวณพื้นที่ที่ Block Out Concrete
- ตัดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตตามแนวที่ Block Out ให้ตรงตามตำแหน่งที่กำหนด
- รื้อวัสดุผิวทางและหินคลุกออกจากบริเวณพื้นที่ที่ Block Out ไว้ให้หมด พร้อมทำความสะอาด
- ติดตั้งเหล็กเสริมในบริเวณรอยต่อพื้นสะพานตามแบบกำหนด

- ติดตั้ง Joint ทั้งสองด้านให้ได้ตำแหน่งและระดับโดยยึดติดกับอุปกรณ์ Setting Rulers ปรับความกว้างของ Joint ให้เหมาะสมกับอุณหภูมิและรายการคำนวณตามแบบกำหนด
- ตรวจสอบความถูกต้องตามแบบรายละเอียด และใช้น้ำยาประสานระหว่างคอนกรีตเก่าและใหม่ก่อนเทคอนกรีต
- ขณะเทคอนกรีตต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) และได้ระดับตามแบบกำหนด
- บ่มคอนกรีตรอยต่อพื้นสะพาน โดยคลุมด้วยกระสอบชุ่มน้ำหรือฉีดน้ำยาบ่มคอนกรีต
- กรณีเป็น Expansion Joint แบบที่มีสลักเกลียวยึดให้ดำเนินการขันสลักเกลียวเมื่อความสามารถรับแรงอัดของคอนกรีตเกิน 80% ของกำลังอัดที่ 28 วัน หยอดปิดหัวสลักเกลียวด้วย Pure Tar
- ใส่ยางกันน้ำในรอยต่อ Expansion Joint ตามแบบกำหนด

ข้อควรระวัง

- การติดตั้ง Joint ต่างๆ บนพื้นสะพานนั้น หลักสำคัญต้องตรวจสอบระดับให้ถูกต้องเพื่อให้รอยต่อเสมอกัน และยังต้องคำนึงถึงวิธีการในการติดตั้งให้สมบูรณ์เป็นไปตามข้อกำหนดจากแบบก่อสร้างด้วย
- การเชื่อมสำหรับรอยต่อชนิดใช้แผ่นเหล็กจะต้องทำให้เหล็กรูปตัว U ที่ใช้เสริมยึดระหว่างแผ่นเหล็กกับเนื้อคอนกรีตเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กให้สนิทและสมบูรณ์อย่าให้หลุดได้ พร้อมทั้งตรวจสอบระดับที่ติดตั้งให้ถูกต้องตามแบบ
- ส่วนที่เป็นคอนกรีตใน Block Out บริเวณ Joint ต้องใช้วัสดุที่ไม่หดตัว ให้ใช้ Non Shrink Concrete เป็นตัวประสานระหว่าง คอนกรีตกับ Joint เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกระหว่างคอนกรีตกับ Joint และน้ำซึมลงไปใน Joint ได้ อีกทั้งยังป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตที่เทใหม่
- การเทคอนกรีตใน Block Out หากไม่สามารถใช้น้ำยาประสาน (Epoxy Bonding) เพื่อประสานระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตใหม่ ควรจะรดน้ำให้คอนกรีตเดิมชุ่มน้ำอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ก่อนเทคอนกรีตใหม่ลงใน Block Out และหากมีการใช้น้ำยาประสานคอนกรีตต้องดำเนินการให้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตผลิตภัณฑ์นั้นโดยเคร่งครัด
- ต้องตรวจสอบการปรับระดับคอนกรีตให้ถูกต้องและเสมอกับระดับบนของ Joint
- การติดตั้งรอยต่อต้องให้ Joint แนบสนิทกับเนื้อคอนกรีตไม่ให้เกิดช่องว่างใต้ Joint ได้ เพราะถ้าติดตั้งไม่แนบสนิทแล้ว เมื่อเปิดการจราจรแล้วอาจเกิดแรงกระแทก ทำให้คอนกรีตบริเวณรอยต่อเกิดการแตกร้าวได้
- กรณีกำหนดให้ปูยางแอสฟัลท์คอนกรีตทับบนผิวสะพานคอนกรีต ต้องหลีกเลี่ยงวิธีการก่อสร้าง Expansion Joint ก่อนการปูยางแอสฟัลท์คอนกรีต เพราะจะทำให้

รอยต่อพื้นสะพานไม่เรียบ เมื่อรถวิ่งผ่านจะทำให้สะดุดหรือกระโดด ให้ปูยางแอสฟัลต์คอนกรีตก่อน ตลอดพื้นสะพานและบริเวณ Block Out ของรอยต่อพื้นสะพาน แล้วจึงตัดรื้อยางออกเพื่อติดตั้ง Expansion Joint และเทคอนกรีต

4.2.7 ทางเท้า ขอบทางและราวสะพาน

- ตรวจสอบแนว และระดับให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง
- ตรวจสอบขนาดต่าง ๆ ของแบบ รวมถึงตำแหน่งที่ติดตั้งให้ถูกต้องตามแบบ
- ตรวจสอบและควบคุมงานเทคอนกรีตให้เป็นไปตามหัวข้อ 2.12

5. ทางลอด (Underpass)

โดยทั่วไปทางลอดมีการก่อสร้างหลายวิธี แต่ที่กรมทางหลวงได้ดำเนินการ ในปัจจุบันคือแบบเปิดหน้าดิน (Open Cut) ซึ่งมีขั้นตอนการก่อสร้างดังนี้

การก่อสร้างแบบเปิดหน้าดิน (Open Cut)

5.1 วางแนวศูนย์กลางและแนวความกว้างของทางลอดที่จะขุด พร้อมทั้งตรวจสอบระดับในแต่ละจุดตามแนวที่จะขุดว่ามีความลึกเท่าใด โดยตรวจสอบจากแบบและวางหมุดเครื่องหมายต่าง ๆ ลงบนพื้นที่จะก่อสร้างให้เห็นชัดเจนและง่ายต่อการตรวจสอบ

5.2 ก่อสร้าง Guide Wall โดยทำเป็นกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กสูงประมาณ 1.00 เมตร หนาประมาณ 0.30 - 0.50 เมตร หรือแล้วแต่แบบกำหนด และระยะกว้างกว่าตัวกำแพงที่จะทำการก่อสร้างเล็กน้อย โครงสร้างกำแพงที่จะก่อสร้างนี้ เรียกว่า Diaphragm Wall ซึ่งจะขุดลึกลงไปต่ำกว่าระดับท้องของทางลอดประมาณ 10 เมตร หรือแล้วแต่แบบกำหนด และ Diaphragm Wall นี้จะก่อสร้างเป็นแผง (Panel) โดยแต่ละแผงจะยาวไม่เกิน 6.5 เมตร ส่วนความหนาหรือความกว้าง ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบกำหนด แต่ละแผง จะก่อสร้างตามชนิดของแผง ได้แก่ Primary Panel, Secondary Panel, Closure Panel เพื่อสะดวกต่อการจัดระบบขั้นตอนในการทำงาน โดยแต่ละแผง มีลำดับการก่อสร้างที่อาจจะแตกต่างกันในระหว่างการทำงาน เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่และปัญหาอุปสรรคในสนาม

5.3 การขุดดินเพื่อก่อสร้าง Diaphragm Wall ในแต่ละแผง Diaphragm Wall จะขุดดินขึ้นมาโดยใช้เครื่องจักรแบบไฮดรอลิค (Hydraulic Grab Machine) ซึ่งอยู่ติดกับ Boom ของรถเครนตีนตะขาบ และยึดติดด้วยสายสลิงโดยมีสายไฮดรอลิค เป็นตัวบังคับตัว Grab สำหรับเปิดและปิดในการขุดดิน และในระหว่างขุดจะต้องรักษาระดับสารละลายเบนโทไนต์ ให้อยู่เหนือส่วนล่างสุดของ Guide Wall เพื่อป้องกันการพังทลายของดิน โดยขุดไปต้องเติมสารละลายเบนโทไนต์ลงไปเรื่อย ๆ และค่าความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนต์ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ในการก่อสร้าง Panel ต้องมีการติดตั้ง Water Stop พร้อมกับ Stop End ไว้ที่ปลายที่จะก่อสร้างแผงถัดไป

5.4 การตรวจสอบ

- ตรวจสอบแนวดิ่งของการขุด โดยสังเกตุจากสายไฮดรอลิคหรือสายสลิง เทียบกับ Guide Wall หรือจะใช้กล้องแนวก็ได้ ปกติในห้องคนขับเครื่องมือขุดจะมี Meter สำหรับบอกความลึก และแนวดิ่งที่ขุดอยู่ด้วย แต่ถึงอย่างไรจะต้องตรวจสอบความลึกอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้เทปวัดอย่างน้อย 6 จุด คือ ที่มุมทั้งสี่ด้านและกึ่งกลาง Panal ทั้ง 2 ข้างเปรียบเทียบกับ Meter จากเครื่องขุดว่าตรงกันหรือไม่

- ตรวจสอบสารละลายเบนโทไนต์ (Bentonite) ทันทีที่การขุดแผง Diaphragm Wall แล้วเสร็จแต่ละ Panel สารละลายเบนโทไนต์ที่ดูดขึ้นมาจากกันหลุมของแต่ละ Panel อาจมีสิ่งปลอมปนทำให้คุณภาพไม่ดีต้องส่งผ่านไปยังเครื่องแยกทราย (Desander) แล้วทำการตรวจสอบคุณสมบัติก่อนที่จะนำไปใช้ต่อไป โดยทำการทดสอบหาค่า Viscosity, Density, Sand Content และ PH ให้เป็นไปตามข้อกำหนด ถ้าหากค่าตัวใดมีคุณสมบัติไม่ได้ตามข้อกำหนด ให้ทำการปรับปรุงให้ได้เสียก่อน โดยการเพิ่มสารละลาย เบนโทไนต์ เข้าไปจนกระทั่งสารละลายที่ Recycle มีคุณสมบัติได้ตามข้อกำหนดแล้วจึงนำไปใช้ต่อได้ และเมื่อนำไปใช้ให้ตรวจสอบคุณสมบัติของเบนโทไนต์ในหลุมที่ขุดอีกครั้งให้ได้ตามข้อกำหนดก่อนใส่เหล็กเสริม

5.5 เหล็กเสริม

- เมื่อตรวจสอบความลึก ความกว้าง และแนวดิ่งเรียบร้อยแล้วจึงนำเอาเหล็กเสริมที่ผูกเตรียมไว้ใส่ลงไปใน Panel ที่ขุดไว้ บางครั้ง Panel มีความลึกมากจำเป็นต้องมีการต่อเหล็กเสริม อาจจะใช้วิธีเชื่อมหรือใช้ตัว Clamp ยึดติด ทั้งนี้ให้เป็นไปตามข้อกำหนดการต่อเหล็กเสริมทั่วไป และในการใส่เหล็กจะต้องมีลูกปูนผูกเป็นระยะ โดยมีความหนาเท่ากับความหนาของคอนกรีต Covering
- สำหรับตำแหน่งที่ยึดพื้นทางลอดเข้ากับ Diaphragm Wall นั้นจะต้องมี Coupler สำหรับต่อเหล็กเสริมของพื้นทางลอดกับแผง Diaphragm Wall เข้าด้วยกันตามระดับที่แบบกำหนดและตรงจุดดังกล่าวจะต้องทำเป็น Block Out โดยใช้ไม้อัดและโฟมผูกยึดติดกับแผงเหล็กไว้เพื่อสะดวกในการหาตำแหน่ง Coupler ภายหลังจากการขุดเปิดหน้าดิน

5.6 คอนกรีต

ส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้จะต้องมี Cement ไม่น้อยกว่า 400 กก./ม.^{3} และสามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่า 40 MPa โดยอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ไม่เกิน 0.50 และ Slump ประมาณ 20 เซนติเมตร ซึ่งต้องมีการใส่สารผสมเพิ่มค่า Slump เพื่อให้สะดวกในการเท เพราะไม่สามารถที่จะใช้เครื่องเขย่าคอนกรีตในระหว่างเทได้ การเก็บตัวอย่างจะต้องเก็บตัวอย่างคอนกรีตจากทุกๆ แผง โดยทำการทดสอบอย่างน้อยตัวอย่างละ 3 ชุด หรือแล้วแต่ความจำเป็น ซึ่งอาจจะมากกว่านี้ได้ เพื่อที่จะทราบผลและปรับปรุงสำหรับการก่อสร้าง Panel อื่นต่อไป

5.7 การเทคอนกรีต

การเทคอนกรีตโดยใช้คอนกรีตผสมเสร็จและเทโดยใช้ท่อ Tremie เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนและให้แน่ใจว่าคอนกรีตคุณภาพดีมีความหนาแน่นในการเทอย่างต่อเนื่อง ก่อนเทควรทดสอบ Slump ให้ได้ตามที่กำหนด โดยการเทผ่านท่อ Tremie Pipe ขนาด Ø 10″ ที่มี Plug ซึ่งใช้วัสดุโฟมเพื่อป้องกันมิให้คอนกรีตแยกตัว (Segregation) และป้องกันคอนกรีตไม่ให้ไปสัมผัสกับสารละลาย Slurry ที่ทำหน้าที่

ป้องกันผนังหลุมเจาะพังโดยตรง เมื่อเทคอนกรีตลงใน Tremie Pipe คอนกรีตจะดัน Plug ออกไปทางปลายท่อด้านล่างซึ่งอยู่เหนือก้นหลุมเพียงเล็กน้อยพอให้คอนกรีตไหลได้สะดวก คอนกรีตที่พุ่งออกมาอย่างแรงจะดันตะกอนก้นหลุมที่อาจมีอยู่บ้าง และ Plug ให้ลอยขึ้นมาจึงจะมีแต่คอนกรีตดีลงไปแทนที่อยู่ก้นหลุม และเพื่อป้องกันมิให้ตะกอนหรือสาร Slurry เข้ามาปะปนกับคอนกรีตดีได้ ในระหว่างการเทคอนกรีตจะต้องรักษาปลาย Tremie Pipe ให้จมอยู่ในคอนกรีตตลอดเวลา โดยมีระยะจมอย่างน้อย 2.0 เมตร ตะกอนและสาร Slurry จึงจะถูกดันลอยขึ้นมาตลอดเวลาจนมาอยู่ส่วนบน Panel เมื่อเทคอนกรีตจนได้ระดับแล้วจะต้องมีส่วนเผื่อสำหรับสกัดเอาส่วนบนของ Panel ออกประมาณ 1เมตร หรือถึงส่วนของเนื้อคอนกรีตที่มีคุณภาพดีตามข้อกำหนด

5.8 เสาเข็มรับพื้นทางลอด (Base Slab)

อาจจะเป็นเสาเข็มตอกหรือเสาเข็มเจาะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแบบก่อสร้าง แต่ระดับหัวเสาเข็มจะต้องตัด ให้ได้ระดับตาม Profile ของระดับพื้นทางลอด และให้สูงกว่าเล็กน้อยโดยระหว่างก่อสร้างเสาเข็ม จะตรวจสอบและวัดระดับความลึก โดยอ้างอิงจากระดับผิวดินเดิมเป็นหลัก ให้ได้ระดับหัวเสาเข็มตามต้องการ เมื่อแล้วเสร็จแล้วจะต้องกลบหลุม เพื่อป้องกันคนหรือสิ่งของตกหล่นลงไปในหลุมหัวเสาเข็ม

5.9 การขุดดินออกเพื่อก่อสร้าง Base Slap

- ก่อนขุดจะต้องสกัดผนัง Guide Wall ออก
- ก่อสร้าง Waling Beam ยึดบนกำแพง Diaphragm Wall โดย Block Out ช่องสำหรับเทคอนกรีต Finishing ภายหลังทุก ๆ ระยะ 2 เมตร ด้วย
- ก่อนขุดดินจะต้องคำนวณหาแรงดันของดินที่กระทำต่อ Diaphragm Wall ในแต่ละเมตรที่ขุดลึกลงไปจนถึงระดับที่ต้องการตามแบบเพื่อป้องกันไม่ให้ Diaphragm Wall เคลื่อนตัวต้องใส่ Bracing ชั่วคราวในแต่ละชั้นของความลึก (ประมาณ 2.5 - 3.0 เมตร) ถ้าระยะระหว่างกำแพงถึงกำแพงห่างกันมาก ต้องทำเสาชั่วคราว (King Post) รองรับตัว Bracing เพื่อป้องกันการเกิด Buckling ของ Bracing หากมีเครื่องจักรขึ้นไปยืนอยู่บนพื้น (Plat Form) เพื่อขุดดินออกต้องเพิ่มจำนวนเสาชั่วคราว (King Post) รองรับน้ำหนักเครื่องจักรด้วย
- เมื่อขุดถึงระดับที่จะทำ Base Slab แล้วจึงปรับแต่งด้วยทรายและเทคอนกรีตหยาบให้ได้ตามรูปแบบของท้องพื้น Base Slab ที่จะก่อสร้าง

5.10 การรื้อ Bracing ชั่วคราวและเสาชั่วคราวออกจะกระทำได้ต่อเมื่อได้เทคอนกรีตพื้น Base Slab และทำ Bracing ถาวรตามตำแหน่งและสามารถรับน้ำหนักได้ตามที่กำหนดไว้ในแบบเรียบร้อยแล้ว ในการเทคอนกรีตพื้น Base Slab ต้องทำ Block Out บริเวณรอบเสาชั่วคราว (King Post) เพื่อความสะดวก ในการเชื่อมเหล็กเสริมและเทคอนกรีตพื้น Base Slab ตรงที่ Block Out ไว้ตามแบบหลังจากที่ได้ถอนเสาชั่วคราวออกแล้ว ทั้งนี้ควรใส่ Water Stop ไว้โดยรอบแนวที่ Block out ของพื้น Base Slab เพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำบริเวณรอยต่อคอนกรีต

5.11 การตกแต่ง (Finishing)

ผิวของ Diaphragm Wall ด้านในอาจไม่เรียบร้อย เนื่องจากการพังทลายของผนังดินจึงต้องมีการตกแต่งผิวใหม่ดังนี้

- สกัดผิวส่วนที่นูนและล้างทำความสะอาดโดยการฉีดน้ำแรงดันสูง
- ซ่อมรอยรั่วต่างๆ ที่เกิดขึ้นใน Diaphragm Wall โดยใช้น้ำยา Epoxy หรือสารที่ฉีดเข้าไปป้องกันการรั่วซึมต่างๆ
- เจาะผนังเพื่อเสียบเหล็ก Dowel และเข้าแบบเพื่อเทคอนกรีต Finishing หนาประมาณ 20 เซนติเมตร หรือตามแบบกำหนด
- เทคอนกรีต Finishing ทางช่องที่ Block Out ไว้บน Welding Beam
- หลังจากถอดแบบถ้าผิวยังไม่เรียบร้อยให้ตกแต่งผิวอีกครั้งให้เรียบร้อย

6. โครงสร้างคอสะพาน (Bridge Approach Structure)

โครงสร้างคอสะพาน (Bridge Approach Structure) เป็นโครงสร้างเชิงลาดที่ต่อเชื่อมระหว่างโครงสร้างสะพานกับถนน อาจใช้โครงสร้างส่วนนี้ให้เกิดประโยชน์ในงานบำรุงทาง โดยใช้เป็นที่เก็บวัสดุหรือห้องปฏิบัติงาน เมื่อเปรียบเทียบ Bridge Approach Structure ชนิดมีกำแพงหล่อในที่กับสะพานแบบมีช่วงคานคอนกรีตอัดแรงในช่วงระยะที่เท่ากันแล้ว Bridge Approach Structure มีขั้นตอนและระยะเวลาก่อสร้างที่มากกว่า เนื่องจากต้องใช้แบบหล่อในที่ตลอดช่วงความยาว ซึ่งแบบหล่อโครงสร้างส่วนบนทั้งหมดจะต้องรองรับด้วยระบบค้ำยันและนั่งร้าน

องค์ประกอบของ Bridge Approach Structure

6.1 โครงสร้างส่วนล่าง (Substructures)

- **ฐานราก** เป็นเสาเข็มตอก (Driving Pile) หรือเสาเข็มเจาะ (Bored Pile) ในกรณีที่ก่อสร้างในเขตชุมชม หรือชิดกับโครงสร้างอื่นที่อาจเกิดความเสียหายจากการตอกเสาเข็ม
- **คานคอดิน** (Ground Beam) และ**แท่นหัวเข็ม** (Pile Cap) เป็นโครงสร้าง คสล. ส่วนล่างของ Bridge Approach Structure คานคอดินมีทั้งแนวตามยาวและตามขวางทำหน้าที่โยงยึดระบบโครงสร้าง ระดับท้องคานคอดินควรอยู่ที่ระดับดินเดิม หรือตามแบบกำหนด
- **เสา** (Column) เสาภายใน Bridge Approach Structure ถูกออกแบบให้มีช่วงระยะห่างไม่มากนักเพื่อกระจายการรับน้ำหนักเสาอาจมีแถวเดียว หรือหลายแถวขึ้นอยู่กับความกว้างสะพาน
- **กำแพง** (Wall) เป็นโครงสร้างด้านข้างตามแนวยาวของสะพาน ทำหน้าที่กระจายน้ำหนักลงสู่คานคอดินและฐานราก อาจมีช่องเปิดตามแบบกำหนด
- **คานบน** (Upper Beam) เป็นคาน คสล. ตามแนวยาวและอาจมีตามแนวขวาง ออกแบบให้รองรับและกระจายน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบน (Super Structure) ลงสู่เสา

6.2 โครงสร้างส่วนบน (Superstructures)

- **พื้นสะพาน** (Topping Slab) เป็นโครงสร้างส่วนบนสุดที่เป็นผิวจราจร

ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

- ทำการสำรวจและศึกษาทางด้านธรณีวิทยา และอื่นๆ ที่จำเป็นตรวจสอบความเหมาะสมของแบบกับสภาพจริงในสนาม หากไม่เหมาะสมให้รายงานสำนักเจ้าของงาน
- ตรวจสอบแนว พิกัด ระดับของโครงสร้างที่กำหนดในแบบก่อสร้างและข้อมูลในสนามให้มีความสอดคล้องถูกต้องเหมาะสมและเป็นไปตามแบบรายละเอียด และข้อกำหนด เช่น ระยะความสูงมากที่สุดของ Bridge Approach Structure ที่ก่อสร้างต้องไม่เกินที่ระบุไว้ในแบบ หากสูงเกินจากแบบกำหนดให้รีบรายงานสำนักเจ้าของงาน

6.1 การดำเนินงานโครงสร้างส่วนล่าง (Substructures)

ฐานรากชนิดเสาตอก (Driving Pile)

การปฏิบัติงานให้ดำเนินการตามวิธีการผลิต การขนส่งและการตอกเสาเข็มตามลักษณะของเสาเข็มที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง ตามรายละเอียดในหัวข้อเสาเข็มตอก (Driving Pile) ดังนี้

การตอกเสาเข็ม

- ตรวจสอบขนาด ผังตำแหน่ง ของเสาเข็ม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและลำดับการตอกต้องเหมาะสม
- ดำเนินการตอกเสาเข็ม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและข้อกำหนด ลำดับการตอกต้องเหมาะสม
- ตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างของเสาเข็มที่จะใช้ตอกก่อนนำไปใช้งาน
- ตรวจสอบค่าระดับดินเดิมบริเวณผังเสาเข็ม
- ตรวจสอบความแข็งแรงของนั่งร้านปั่นจั่น
- ตรวจสอบฐานปั่นจั่นให้อยู่ในแนวระนาบ และรางบังคับลูกตุ้มของปั่นจั่นต้องไม่คดงอ
- กรณีตอกเสาเข็มในแนวดิ่งรางบังคับลูกตุ้มของปั่นจั่น ต้องอยู่ในแนวดิ่งทั้ง 2 ทิศทาง
- เตรียมพื้นที่สำหรับการกองเสาเข็มเพื่อใช้ประโยชน์ในการชักลากตลอดการยกเสาเข็มขึ้นตั้งเพื่อตอกและต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดความเสียหาย
- ทำเครื่องหมายทุกระยะ 0.50 เมตร ตลอดความยาวของเสาเข็ม
- ทำหมุดหลักฐานไว้สำหรับตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มทุกต้นอย่างน้อย 2 ทิศทาง
- ตรวจสอบแนวแกนเสาเข็มให้ขนานกับรางบังคับลูกตุ้มทั้ง 2 ทิศทาง ทั้งในกรณีตอกเข็มในแนวดิ่ง และตอกเข็มในแนวเอียง
- ก่อนตอกเสาเข็ม ให้ตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ไม่มีรอยแตกร้าว
- เมื่อเริ่มตอกเสาเข็มให้บันทึก ระยะยกลูกตุ้ม จำนวนครั้งที่ตอก และระยะจมของเสาเข็ม
- ขณะเริ่มตอกเสาเข็ม หรือระหว่างการตอกเมื่อพบความคลาดเคลื่อน ข้อบกพร่องให้ทำการแก้ไขก่อนดำเนินการตอกเสาเข็มต่อไป ให้ตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มกับหมุดหลักฐานและสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มเป็นระยะ ๆ
- เมื่ออัตราการจมของเสาเข็มจากการตอก ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ จากความสามารถการรับน้ำหนักของเสาเข็มตามแบบ ให้ทำการวัดอัตราการจมเฉลี่ยต่อการตอก 5 ครั้ง จำนวน 3 ค่า หากได้ค่าเฉลี่ยอัตราการจมน้อยกว่าจากการคำนวณให้คำนวณค่าความสามารถการรับน้ำหนักของเสาเข็มจากค่าเฉลี่ยอัตราการจม
- ตรวจสอบค่าการคลาดเคลื่อนของหมุดอ้างอิง
- รวบรวมข้อมูลของเสาเข็มและบันทึกตามแบบฟอร์ม ก.1 พร้อมบันทึกค่าระดับปลายเสาเข็มในแบบ บ.4.2 ของกรมทางหลวง
- เนื่องจากเสาเข็มของฐานราก Bridge Approach Structure มีลักษณะเป็นกลุ่มเรียงเป็นระเบียบ เป็นลำดับการตอกเสาเข็ม ในลักษณะกลุ่มเสาเข็มบริเวณดินอ่อนให้กำหนดแผนลำดับการตอกเสาเข็ม โดยมีลำดับการตอกที่มีทิศทางออกไปจากกลุ่มเสาเข็มที่ได้ตอกเสร็จ

เรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้ รวมถึงกลุ่มเสาเข็มของตอม่อที่อยู่ประชิดใกล้เคียงที่ตอกเสร็จแล้วด้วย เพื่อให้แรงดันสะสมที่เกิดจากมวลดินใต้ดินที่ถูกแทนที่โดยกลุ่มเสาเข็มมีทิศทางของแรงออกจากกลุ่มเสาเข็มที่ตอกแล้ว ไม่ให้กระทำต่อเสาเข็มที่ตอกเสร็จแล้วเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งหรือหนีศูนย์

ฐานรากชนิดเสาเข็มเจาะ (Bored Pile)

ให้ใช้ในกรณีที่กำหนดไว้ในแบบหรือไม่สามารถใช้ฐานรากชนิดเสาตอกได้ ทั้งนี้โดยต้องใส่เหล็กเสริมอย่างน้อย 1 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่หน้าตัดยาวตลอดความยาวของเสาเข็ม และต้องเสนอรูปแบบและรายการคำนวณให้สำนักสำรวจ และออกแบบเห็นชอบเป็นลายลักษณ์อักษร

เสาเข็มเจาะระบบเจาะเปียก (Wet Process) จะใช้กับสภาพดินที่มีชั้นทรายหรือมีน้ำใต้ดิน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ของเหลวเพิ่มแรงดันในหลุมเจาะ เพื่อป้องกันมิให้ผนังหลุมเจาะพังเช่น สารละลายเบนโทไนท์ (Bentonite) เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนปฏิบัติควบคุมดังนี้

ก่อนเจาะ

- ตรวจสอบศูนย์กลางของตำแหน่งเสาเข็มและขนาดให้ได้ตามแบบ
- ตรวจสอบความมั่นคงของจุดยืน ของเครื่องเจาะ และทางที่รถลำเรียงดินออก
- ตรวจสอบระยะห่างของหลุมที่จะเจาะใหม่กับหลุมของเสาเข็มที่เทคอนกรีตเสร็จใหม่

การเจาะ

- ตรวจสอบแนวดิ่งของเครื่องเจาะตลอดเวลา
- ตรวจสอบคุณภาพของ Drilling liquid และเติม Drilling liquid ในหลุมเจาะเมื่อระดับลดลง
- ตรวจสอบและวัดความลึกของชั้นดินที่เปลี่ยนไปของหลุมเจาะ (Drill Hole Monitoring) ระหว่างขุดเจาะ
- สังเกตการพังทลายดินผนังหลุมเจาะ และอย่านำดินที่ขุดขึ้นมากองไว้ใกล้ปากหลุม
- วัดระดับก้นหลุมเจาะ ความลาดเอียง และสภาพของหลุมเจาะ เมื่อความลึกที่วัดได้ของหลุมเจาะได้ตามต้องการ รวมทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะ
- ให้รีบดำเนินการเทคอนกรีตโดยเร็ว อย่าทิ้งหลุมเจาะไว้นาน

การเทคอนกรีต

- ตรวจความสะอาดของหลุมเจาะอีกครั้ง
- ตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริม และลูกปูน ก่อนนำลงในหลุมเจาะให้เป็นไปตามแบบ
- ตรวจข้อต่อของท่อส่งคอนกรีตอย่าให้น้ำซึมได้ พร้อมทั้งตรวจสอบความยาว
- ตรวจสอบตำแหน่งและปลายท่อส่งคอนกรีต ให้ห่างจากก้นหลุมเจาะไม่เกิน 20-30 ซม.เพื่อป้องกันคอนกรีตแยกตัว และดันตะกอนที่ก้นหลุมขึ้นมาได้
- ตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบระดับของคอนกรีตที่เทได้ในหลุมเจาะแต่ละครั้ง เปรียบเทียบกับปริมาณตามแบบ และจดบันทึก

- ตรวจสอบระยะฝังในคอนกรีตของท่อส่งคอนกรีต ควรจมอยู่ในคอนกรีต 2.00 เมตร
- ตรวจสอบระยะเผื่อของระดับคอนกรีตหัวเสาเข็ม

เสาเข็มเจาะระบบเจาะแห้ง (Dry Process) ในสภาพดินบางแห่งเมื่อเจาะแล้วไม่พบน้ำใต้ดิน หรือเป็นชั้นทรายอัดตัวแน่นไม่เกิดการพังทลายของผนังหลุมเจาะ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ของเหลวป้องกันผนังหลุมเจาะ จึงมีขั้นตอนปฏิบัติควบคุมดังนี้

ก่อนเจาะ

- ตรวจสอบศูนย์กลางของตำแหน่งเสาเข็มและขนาดให้ได้ตามแบบ
- ตรวจสอบความมั่นคงของจุดยืนของเครื่องเจาะ และทางที่รถลำเลียงดินออก
- ตรวจสอบระยะห่างของหลุมที่จะเจาะใหม่กับหลุมของเสาเข็ม ที่เทคอนกรีตเสร็จใหม่
- ตรวจสอบสภาพและรอยต่อของปลอกเหล็กในกรณีที่ช่วงแรกของการขุดเจาะ ซึ่งส่วนมากเป็นดินอ่อนจึงมักจะใส่ปลอกเหล็ก (Steel Casing) เพื่อป้องกันดินส่วนบนพังและ ใช้หัวขุดเจาะแบบสว่าน (Auger Type)

การเจาะ

- ตรวจสอบแนวดิ่งของปลอกเหล็กตลอดเวลาขณะตอก
- ตรวจสอบ และวัดความลึกของชั้นดินที่เปลี่ยนไปของหลุมเจาะระหว่างขุดเจาะ
- สังเกตว่ามีดินข้างหลุมพังหรือไม่ และอย่านำดินที่ขุดขึ้นมากองไว้ข้างหลุม
- ตรวจสอบก้นหลุมและทำให้หลุมเจาะแห้ง (ถ้าหากก้นหลุมมีน้ำใต้ดินซึมเข้าในหลุม) โดยทั่วไปจะใส่ปูนซีเมนต์ผงลงไปซับน้ำให้ก้นหลุมแห้ง
- วัดระดับก้นหลุมเจาะความลาดเอียงและสภาพของหลุมเจาะ เมื่อความลึกของหลุมเจาะได้ตามต้องการ
- ให้รีบดำเนินการเทคอนกรีตโดยเร็ว อย่าทิ้งหลุมเจาะไว้นาน

การเทคอนกรีต

- ตรวจสอบความสะอาดก้นหลุมเจาะอีกครั้ง
- ตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริมในหลุมเจาะให้เป็นไปตามแบบ
- ตรวจสอบตำแหน่งและปลายท่อส่งคอนกรีต อย่าให้ห่างจากก้นหลุมเจาะหรือระดับของคอนกรีตในหลุมเจาะมากนักเพื่อป้องกันคอนกรีตแยกตัว
- ตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบระดับของคอนกรีต ที่เทได้ในหลุมเจาะแต่ละครั้งเปรียบเทียบกับปริมาณตามแบบ
- ตรวจสอบระยะเผื่อของระดับคอนกรีตหัวเข็ม
- ดึงปลอกเหล็กออกก่อนคอนกรีตก่อตัวด้วยหัวจับยึดแบบสั่น และต้องระวังมิให้ปลอกเหล็กเกี่ยวเหล็กเสริมขึ้นมาด้วย

คานคอดิน (Ground Beam) และ แท่นหัวเข็ม (Pile Cap)

เป็นโครงสร้าง คสล. ส่วนล่างของ Bridge Approach Structure คานคอดินมีแนวตามยาวและตามขวาง ทำหน้าที่โยงยึดระบบโครงสร้างไว้ โดยปกติระดับหลังคานคอดินและระดับหลังแท่นหัวเสาเข็ม (Pile Cap) จะอยู่ในระดับดินเดิมหรือสูงกว่าเล็กน้อยหรือตามแบบกำหนด

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กะบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบขนาดคละ(Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ(Abrasion) และความสะอาดของ หิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจแบบหล่อให้ได้ ขนาด ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
- ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง
- ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนดและหลักวิชา
- ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน
- ตรวจสอบ ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง(Bar Chair) รองรับให้แข็งแรง ไม่ทรุด
- ตรวจสอบ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ
- จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

งานเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) ตามข้อกำหนด
- ควบคุมที่โรงงานผสมคอนกรีต ตรวจสอบเวลาในการผสม (Mixing Time) ให้เหมาะสม
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท
- ตรวจสอบความข้นเหลว(Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด
- ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)
- ขณะเทคอนกรีต ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด โดยเขียนรายละเอียดต่างๆลงในเนื้อคอนกรีต
- ก่อนเทคอนกรีตใหม่ เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตใหม่
- ขณะที่เทคอนกรีต ต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม
- แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 2 ข้อ 5.1.11

งานหลังเทคอนกรีต

- ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
  - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
  - แบบประกอบรองรับท้องคาน พื้น 14 วัน
  - กรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน
- ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที

- ควบคุมให้มีการบ่มคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง ตลอดระยะเวลา 7 วัน หรือความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ต้องไม่น้อยกว่า 70% ของค่าที่กำหนดไว้ กรณีค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีมนต์ (Water Cement Ratio, W/C) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.40 ห้ามใช้สารเหลวบ่มคอนกรีตโดยเด็ดขาด

เสา (Column)

ให้ดำเนินการตรวจสอบตำแหน่งระยะระหว่างเสาและแนวดิ่งของเสาทุกต้น ให้ถูกต้องตามแบบก่อนและดำเนินขั้นตอนควบคุมตรวจสอบงานต่อไปดังนี้

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กะบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบขนาดคละ(Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ(Abrasion) และความสะอาดของ หิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
- ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง
- ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนดและหลักวิชา
- ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน
- ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ
- ตรวจ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ
- จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

งานเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) ตามข้อกำหนด
- ควบคุมเวลาในการผสมคอนกรีต (Mixing Time) ให้เหมาะสม
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด
- ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)
- ขณะเทคอนกรีต ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด โดยเขียนรายละเอียดต่างๆลงในเนื้อคอนกรีต
- ก่อนเทคอนกรีตใหม่ เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตใหม่
- ขณะที่เทคอนกรีต ต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม
- แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 2 ข้อ 5.1.11

งานหลังเทคอนกรีต

- ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
  - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
  - แบบประกอบรองรับท้องคาน พื้น 14 วัน
  - กรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน
- ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที
- ควบคุมให้มีการบ่มคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง ตลอดระยะเวลา 7 วัน หรือความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ต้องไม่น้อยกว่า 70% ของ

ค่าที่กำหนดไว้ กรณีค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีมนต์ (Water Cement Ratio, W/C) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.40 ห้ามใช้สารเหลวบ่มคอนกรีตโดยเด็ดขาด

กำแพง (Wall)

ให้ดำเนินการตรวจสอบ แนว ระดับ ความสูง ความหนา และความยาวของกำแพงให้ถูกต้องตามแบบก่อน การก่อสร้างในส่วนของเหล็กยืนของกำแพง จะต้องดำเนินการพร้อมๆกับการก่อสร้างคานคอดิน และแท่นหัวเข็มที่รองรับกำแพง ตามแนวยาวของกำแพง แล้วจึงดำเนินขั้นตอนควบคุมตรวจสอบงานต่อไปดังนี้

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กะบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบขนาดคละ(Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ(Abrasion) และความสะอาดของ หิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจแบบหล่อให้ได้ แนว ดิ่ง ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
- ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง
- ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนดและหลักวิชา
- ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน
- ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ
- ตรวจ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ
- จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

งานเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) ตามข้อกำหนด
- ควบคุมที่โรงงานผสมคอนกรีต ตรวจสอบเวลาในการผสม (Mixing Time) ให้เหมาะสม
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด
- ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)
- ขณะเทคอนกรีต ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด โดยเขียนรายละเอียดต่างๆลงในเนื้อคอนกรีต
- ก่อนเทคอนกรีตใหม่ เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตใหม่
- ขณะที่เทคอนกรีต ต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม
- แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 2 ข้อ 5.1.11

งานหลังเทคอนกรีต

- ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
  - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
  - กรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน
- ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที
- ควบคุมให้มีการบ่มคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง ตลอดระยะเวลา 7 วัน หรือความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ต้องไม่น้อยกว่า 70% ของ

ค่าที่กำหนดไว้ กรณีค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีมนต์ (Water Cement Ratio, W/C) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.40 ห้ามใช้สารเหลวบ่มคอนกรีตโดยเด็ดขาด

คานบน (Upper Beam)

ให้ดำเนินการตรวจสอบขนาดและระดับของคานบนรวมทั้งแนวและตำแหน่งที่ก่อสร้างเพื่อรองรับน้ำหนักจากพื้น ให้ถูกต้องตามแบบก่อน และดำเนินขั้นตอนควบคุมตรวจสอบงานต่อไปดังนี้

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กะบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบขนาดคละ(Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ(Abrasion) และความสะอาดของ หิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
- ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง
- ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนดและหลักวิชา
- ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน
- ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ
- ตรวจ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ
- จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

งานเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง

- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) ตามข้อกำหนด
- ควบคุมที่โรงงานผสมคอนกรีต ตรวจสอบเวลาในการผสม(Mixing Time) ให้เหมาะสม
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท
- ตรวจสอบความข้นเหลว(Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด
- ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)
- ขณะเทคอนกรีต ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด โดยเขียนรายละเอียดลงในเนื้อคอนกรีตดังตัวอย่างต่อไปนี้
- ก่อนเทคอนกรีตใหม่ เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตใหม่
- ขณะที่เทคอนกรีต ต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม
- แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 2 ข้อ 5.1.11

งานหลังเทคอนกรีต

- ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
  - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
  - แบบประกอบรองรับท้องคาน พื้น 14 วัน
  - กรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน
- ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที
- ควบคุมให้มีการบ่มคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง ตลอดระยะเวลา 7 วัน หรือความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ต้องไม่น้อยกว่า 70% ของค่าที่กำหนดไว้ กรณีค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีมนต์ (Water Cement Ratio, W/C) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.40 ห้ามใช้สารเหลวบ่มคอนกรีตโดยเด็ดขาด

6.2 การดำเนินงานโครงสร้างส่วนบน (Superstructures)

การควบคุมงานก่อสร้าง Superstructures ซึ่งได้แก่ พื้น รอยต่อ (Joint) ระบบระบายน้ำ เสาและราว ให้ดำเนินการตรวจสอบระดับ ตำแหน่งและแนวให้ถูกต้องตามแบบ

พื้น (Slab)

ให้ดำเนินการตรวจสอบควบคุมงานตามขั้นตอนการเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต งานเทคอนกรีต งานหลังเทคอนกรีต โดยเน้นในเรื่องการตรวจสอบแนว ระดับ ระบบระบายน้ำ นั่งร้านและค้ำยันให้ถูกต้อง และมีความแข็งแรงก่อนการเทเสมอ เมื่อเทคอนกรีตแล้วเสร็จ ต้องทำการตกแต่งผิวหน้าให้เรียบร้อย สวยงาม ตามแบบกำหนด และทำการบ่มคอนกรีตทันที

ขอบทาง เสาและราว

ให้ดำเนินการตรวจสอบควบคุมงานตามขั้นตอน เหมือนหัวข้อขอบทางและราวสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

รอยต่อ (Joint)

- ตรวจสอบชนิดของรอยต่อที่ใช้ให้เป็นไปตามที่ระบุในแบบหรือรายการ
- ตรวจสอบการติดตั้ง ตำแหน่ง ระดับ รวมไปถึงวิธีการติดตั้งให้เป็นไปตามแบบ
- ตรวจสอบวัสดุที่ใช้อุดรอยต่อต้องได้คุณสมบัติตามข้อกำหนดตรวจสอบแบบรอยต่อ ระยะความกว้าง และความลึกตามที่ระบุ

ปัญหาและวิธีการแก้ไข

1. ปัญหา : ระดับและความสูงของ Bridge Approach Structure ที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง เมื่อตรวจสอบข้อมูลสำรวจจากสภาพจริงหน้างานแล้วพบว่ามีค่ามากเกินไปไม่สอดคล้อง หรือเหมาะสมกับสภาพจริงหน้างานไม่ตรงตามแบบและข้อกำหนด

แนวทางป้องกันและแก้ไข : ก่อนที่จะเริ่มเข้าทำการก่อสร้างสะพาน จะต้องเร่งสำรวจและตรวจสอบค่าระดับและพิกัดตำแหน่งๆ ที่จำเป็นจากสภาพหน้างานจริง เช่น ค่าระดับของถนนที่สะพานพาดข้ามทั้งหมด ค่าระดับของดินเดิมและถนนข้างเคียง ค่าระดับน้ำสูงสุดและตรวจความสูงของช่องลอดก่อนการก่อสร้าง อาจต้องทำการปรับค่าระดับจากที่แบบกำหนด หากมีค่าต่ำกว่าค่าความสูงมาตรฐานที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ของกรมทางหลวง และอาจเผื่อการยกระดับขึ้นเล็กน้อย สำหรับการยกระดับ และการปรับปรุงถนนใต้จุดลอดนั้นๆ ในอนาคต นอกเหนือจากนั้นต้องตรวจสอบความสูงที่จะต้องก่อสร้างจริงของกำแพงส่วนที่สูงที่สุดตรง Abutment ที่รองรับคานไม่ให้เกินค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ในแบบ หากค่าระดับดินเดิมและถนนเดิมในแบบมีความผิดพลาดมากอาจทำให้ระดับ Bridge Approach Structure มีระดับจมดินเดิมหรือสูงเกินไปและมีผลต่อการจะต้องทำการปรับแก้ไขรูปตัดแนวดิ่ง (Profile) ของสะพานและตำแหน่งตอม่อ ใหม่

2. ปัญหา: พื้น Topping Slab หลังจากเทแล้วไม่ราบเรียบหลังเปิดใช้งาน หรือเกิดการทรุดตัวหรือแอ่นลงของระบบค้ำยันและนั่งร้านขณะเทหรือเทคอนกรีตเสร็จใหม่

แนวทางการป้องกันแก้ไข : สาเหตุเกินจากความบกพร่องและขาดความมั่นคงแข็งแรงของอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- ขาค้ำยันยืนอยู่บนดิน เช่น ที่ไม่มีแผ่นกระจายแรง (เช่นแผ่นเหล็ก แผ่น Sheet Pile) หรือแผ่นคอนกรีตรองรับบนพื้นดินสามารถรับแรง และถ่ายกระจายน้ำหนักลงสู่พื้นดินเดิมได้อย่างเพียงพอ หรืออาจตอกเสาเข็มสั้นเป็นกลุ่มช่วยเสริมในการรับน้ำหนัก
- ระยะห่างของค้ำยันและตรงรับพื้นมีระยะห่างมากเกินไป หรือขาดการโยงยึด Bracing ตามยาวและขวางอย่างเพียงพอ
- วัสดุที่นำมาประกอบเป็นค้ำยันและนั่งร้านผ่านการใช้งานมานานจนเสื่อมสภาพ หรือเป็นวัสดุที่ไม่มีความแข็งแรงพอ เช่น นำไม้เนื้ออ่อนมาใช้เป็นตงรับพื้นกระดาน หรือใช้แผ่นวัสดุที่มีบางเกินไปหรือ มีขนาดเล็กเกินไป

3. ปัญหา : ภายหลังการก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วไม่บรรลุวัตถุประสงค์ ของผู้ออกแบบที่กำหนดไว้เนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น มีน้ำท่วมขังที่ระดับพื้นภายในอาคาร และระดับภายนอกโครงสร้างมีระดับสูงขึ้นจากดินถม

แนวทางป้องกันแก้ไข :

- ก่อนดำเนินการก่อสร้างจะต้อง ทำการตรวจสอบค่าระดับสภาพหน้างานจริง เช่น ระดับดินเดิม ระดับถนนเดิมและความสูงของช่องลอดที่สามารถก่อสร้างได้จริงหน้างานรวมถึงระดับน้ำสูงสุดหากแบบที่จะก่อสร้างมีรายละเอียดข้อมูลต่างๆ ที่ไม่ตรงหรือคลาด

  เคลื่อนจากค่าสำรวจจริงจากหน้างานเช่นค่าระดับดินเดิม ระดับถนนเดิมพิกัดและระดับโครงสร้างเดิมที่จะต้องเชื่อมต่อ หรือไม่ได้แสดงข้อมูลไว้ ให้เร่งแจ้งสำนักฯเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขแบบด่วน เพื่อให้เส้นแนวระดับ (Profile) มีความเหมาะสมสามารถนำมาใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบ โดยปกติภายในอาคาร Bridge Approach จะกำหนดให้มีดินถมเต็มถึงระดับหลังคานคอดินเพื่อไม่ให้ระดับน้ำท่วมขังภายใน

7. Bearing Unit

เป็นโครงสร้างที่อยู่ต่อจาก Bridge Approach Structure หรือตอม่อริมของสะพาน (Abutment) โดยปกติระดับพื้นของ Bearing Unit จะอยู่ที่ระดับดินเดิมและอยู่ในระนาบราบ ระดับปลายเสาเข็มรองรับ Bearing Unit 2 แถวแรก จะเท่ากับระดับปลายเสาเข็มของตอม่อตับริมหรือสูงกว่าไม่เกิน 2.00 เมตร และความยาวเสาเข็มแถวถัดๆ ไป จะค่อยๆ สั้นลงจนถึงปลาย Bearing Unit ตามที่กำหนดในแบบ ความกว้างของพื้น Bearing Unit กว้างเท่ากับความกว้างของปลายลาดคันทาง (Toe Slope) ส่วนที่อยู่บน Bearing Unit

7.1 การตอกเสาเข็มฐานราก

- ตรวจสอบแนวศูนย์กลาง ระยะ กว้างยาว ที่จะก่อสร้างให้เป็นไปตามแบบ
- ตรวจสอบแผนลำดับการตอกเสาเข็มให้มีความเหมาะสม เนื่องจากเสาเข็มของ Bearing Unit มีลักษณะเป็นกลุ่มเรียงเป็นระเบียบ โดยเฉพาะบริเวณดินอ่อน ลำดับการตอกให้มีทิศทางออกไปจากกลุ่มเสาเข็มที่ได้ตอกเสร็จเรียบร้อยเล้ว ทั้งนี้รวมถึงกลุ่มเสาเข็มของตอม่อที่อยู่ประชิดใกล้เคียงที่ตอกเสร็จแล้วด้วย เพื่อให้แรงดันสะสมที่เกิดจากมวลดินใต้ดินที่ถูกแทนที่โดยกลุ่มเสาเข็ม มีทิศทางของแรงออกจากกลุ่มเสาเข็มที่ตอกแล้ว ไม่ให้กระทำต่อเสาเข็มที่ตอกแล้วเป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหรือการหนีศูนย์ของเสาเข็ม
- ตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างของเสาเข็มที่จะใช้ตอก
- ตรวจสอบค่าระดับดินเดิมบริเวณผังเสาเข็ม
- ตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของหมุดหลักฐานและหมุดอ้างอิง
- ตรวจสอบขนาดเสาเข็ม และจำนวนต้นที่จะตอกให้ครบในแต่ละตับ
- ตรวจสอบตำแหน่งของเสาเข็มตามที่กำหนดในแบบไม่ให้คลาดเคลื่อน หากคลาดเคลื่อนจากแบบให้ปรึกษาผู้ออกแบบทันที
- ควบคุมความยาวของเสาเข็มที่จะมาตอกในแต่ละตับให้ถูกต้องตรงตามแบบ
- ตรวจสอบความแข็งแรงของนั่งร้านปั่นจั่น
- ตรวจสอบฐานปั่นจั่นให้อยู่ในแนวระนาบและรางบังคับลูกตุ้มของปั่นจั่นต้องไม่คดงอ
- กรณีตอกเสาเข็มในแนวดิ่ง รางบังคับลูกตุ้มของปั่นจั่นต้องอยู่ในแนวดิ่งทั้ง 2 ทิศทาง
- ตรวจสอบแนวแกนเสาเข็มให้ขนานกับรางบังคับลูกตุ้มทั้ง 2 ทิศทาง
- ขณะเริ่มตอกเสาเข็ม และระหว่างการตอก ให้ทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อน หรือข้อบกพร่อง ก่อนดำเนินการตอกเสาเข็มต่อไป ให้ตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มกับหมุดหลักฐานและสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มเป็นระยะอย่างต่อเนื่อง
- ตรวจสอบระดับหัวเสาเข็มหลังตอกเสร็จให้พอดีระดับที่จะเข้าแบบพื้น
- ตรวจสอบการรวบรวมข้อมูลของเสาเข็มและการบันทึกตามแบบฟอร์ม ก.1 พร้อมการบันทึกค่าระดับปลายเสาเข็มในแบบ บ.4.2 ของกรมทางหลวง

7.2 การดำเนินงานก่อสร้างพื้น

- ตรวจสอบระดับล่างของพื้น ความลึกของหลุมบริเวณหัวเสาเข็ม พร้อมปรับทรายหยาบรองพื้น
- ตรวจสอบระดับบนของพื้นให้ถูกต้องก่อนเทคอนกรีตอีกครั้ง เพื่อให้ความหนาได้ตามแบบ
- ตรวจสอบเหล็กเสริม ขนาด และระยะห่าง รวมถึงระยะหุ้ม (Covering)
- ตรวจสอบแบบตำแหน่ง และความแข็งแรง
- ควบคุมงานเทคอนกรีต (ดูรายการตรวจสอบ ตามหัวข้อ 2.1.2)

7.3 การดำเนินงานก่อสร้างกำแพงกันดินบริเวณ Abutment

- ตรวจสอบแบบและระดับ
- ควบคุมงานเทคอนกรีต (ดูรายการตรวจสอบ ตามหัวข้อ 2.1.1)

7.4 การดำเนินงานก่อสร้างกำแพง

ใช้กรณีสภาพหน้างานแคบ หรือแบบกำหนด ก่อนดำเนินการก่อสร้าง ให้ตรวจสอบระดับความสูง ความหนา ยาวของกำแพงให้ถูกต้อง รวมทั้งแนวกำแพงให้รับกับ Bridge Approach และโครงสร้างสะพาน หรือให้เป็นไปตามแบบ และสอดคล้องกับสภาพในสนาม ส่วนขั้นตอนควบคุมตรวจสอบงานมีดังนี้

ก่อนการเทคอนกรีต

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กะบะตวง หรือเครื่องชั่ง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จจากโรงผสมต้องทำการ Calibrate ให้ถูกต้อง ถ้าในกรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้จะต้องทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบชนิดของปูนซีเมนต์ที่ใช้ให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของส่วนผสม คือ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ควบคุมขนาดคละ (Gradation) และความสะอาดของหิน หรือกรวด ทราย ให้เป็นไปข้อกำหนด
- ตรวจสอบตำแหน่งของแบบหล่อให้ได้ดิ่ง หรือเอียงฉากตามที่กำหนดไว้ในแบบกำหนดตำแหน่งและระดับที่จะหยุดเทคอนกรีตให้เหมาะสม
- ตรวจผิวของแบบหล่อให้เป็นไปตามความประสงค์ของแบบ
- ตรวจสอบความแข็งแรงของค้ำยัน กรณีที่ Form Tie ให้ขันนอตแน่นทุกตัวและมีจำนวนเพียงพอ
- น้ำมันทาไม้แบบหรือเหล็กต้องได้รับความเห็นชอบก่อนใช้งาน
- ตรวจแบบหล่อไม่ให้มีรอยรั่ว
- ราดน้ำไม้แบบก่อนเทเพื่อป้องกันไม้แบบดูดน้ำจากส่วนผสมคอนกรีต
- ตรวจสภาพของแบบหล่อให้เหมาะสมในการใช้งาน

- ตรวจชนิด ขนาด จำนวน และระยะห่างเหล็กเสริมให้ถูกต้อง
- เหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาดไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ติดอยู่ให้ทำความสะอาดก่อน
- ตรวจ Covering ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ
- ตรวจตำแหน่งการต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนดและหลักวิชาการ
- ตรวจอุปกรณ์ที่ต้องฝังและช่องเจาะต่างๆ ให้มีครบถ้วนตามแบบ เช่น บัวลบเหลี่ยม เหล็ก Dowel ท่อร้อยสายไฟ เป็นต้น
- จัดเตรียมเครื่องมือ เช่น เครื่องผสมคอนกรีต เครื่องเขย่าคอนกรีต ให้พอเพียง และต้องมีสำรอง
- ตรวจจำนวนคนงานและช่างให้เพียงพอกับลักษณะงาน
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต
- ก่อนเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานทุกครั้ง

งานเทคอนกรีต

- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) หรือข้อกำหนด
- ควบคุมโรงงานที่ผสมคอนกรีต พร้อมทั้งตรวจสอบเวลาในการผสม (Mixing Time) ต้องไม่น้อยกว่า 2 นาที
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 30 นาที มาใช้ หากขนส่งโดยรถขนส่งคอนกรีตต้องไม่เกินกว่า 45 นาที ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ตรวจสอบการขนส่งคอนกรีตจากรถขนส่ง ไปยังจุดที่จะเทโดยไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีใช้เครื่อง Concrete Pump ต้องตรวจสอบอัตราส่วนผสม (Mixed Design) ให้เหมาะสม
- ควบคุมระยะปล่อยคอนกรีตไม่สูงกว่า 2.00 เมตร การเทต้องถูกต้องตามวิธีมาตรฐานเพื่อป้องกันการแยกตัว เช่น ใช้ท่อหรือรางช่วยในการเท
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบควบคุมให้มีการจี้คอนกรีต (ทำให้คอนกรีตแน่น) ที่ถูกวิธีตามมาตรฐาน และไม่ควรจี้ถูกเหล็กเสริมและไม้แบบ
- ห้ามจี้คอนกรีตที่ก่อตัวแล้ว
- ขณะเทคอนกรีตให้เก็บตัวอย่างเพื่อการตรวจสอบกำลังอัด
- แต่งผิวหน้าคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบหรือข้อกำหนด
- ก่อนเทคอนกรีตใหม่เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้งให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาด และราดน้ำชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสาน แล้วเทคอนกรีตใหม่ทันที
- ขณะที่เทคอนกรีตต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม
- ควบคุมปริมาณที่เท เมื่อขณะใกล้เสร็จงานให้พอดีตามระดับที่ต้องการ
- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที

งานหลังเทคอนกรีต

- การบ่มคอนกรีตให้ดำเนินการตามรายการละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวงเล่มที่ 2 ข้อ 5.1.11
- การถอดแบบอนุญาตให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตครบอายุ 2 วัน
- ตรวจสอบผลการทดลองกำลังของคอนกรีตที่เทแล้วให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- เมื่อถอดแบบหากพบว่ามีความบกพร่องของเนื้อคอนกรีตให้ผู้รับจ้างเสนอ วิธีการแก้ไขต่อนายช่างควบคุมงานโดยทันที
- วัสดุที่ใช้สำหรับทำรอยต่อและการติดตั้งต้องควบคุมให้ได้ตามมาตรฐานข้อกำหนดเสมอ

8. กำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน (Reinforced Earth Wall)

โครงสร้างที่เชื่อมต่อระหว่างถนนกับสะพานเรียกกันว่า คอสะพาน (Approach Structure) โดยทั่วไปก่อสร้าง เป็นกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งต้องทำการก่อสร้างในสนาม กรณีกำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน เป็นกำแพงกันดินแบบสำเร็จรูป ผลิตชิ้นส่วนในโรงงาน และนำไปติดตั้งในสนาม ลักษณะโครงสร้างดังกล่าว อาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น Reinforced Earth Wall หรือ Mechanically Stabilized Earth Wall หรือ Retained Earth Wall โดยมีหลักการเดียวกันคือ ทำการเสริมกำลังรับน้ำหนักของดินถม และเป็นโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นตัว (Flexible Structure)

ก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้าง

- ผู้รับจ้างต้องเสนอแบบรายละเอียดสำหรับก่อสร้าง (Shop Drawings) รายการคำนวณ (Calculation Sheets) ผู้ผลิตหรือผู้แทนจำหน่าย (Supplier) และข้อกำหนด (Specification) ให้ทางโครงการตรวจสอบเพื่อเสนอขอความเห็นชอบจากสำนักสำรวจและออกแบบ หรือเป็นไปตามที่แบบกำหนด
- ตรวจสอบ ให้ฐานของกำแพงฝังอยู่ในดินเดิมไม่น้อยกว่า 10% ของความสูงกำแพง ในกรณีที่ดินเดิมในสนามมีค่าระดับที่แตกต่างกันมาก ต้องกำหนดค่าระดับที่ฐานในลักษณะขั้นบันได ส่วนแผ่นผนังคอนกรีตด้านบนสุดทุกแผ่นต้องเป็นไปตาม Profile Grade
- ตรวจสอบการกำหนดเหล็กเสริมยึดแผ่นผนังคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด
- ตรวจสอบการกำหนดเหล็กเสริมยึดแผ่นผนังคอนกรีต ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด
- ตรวจสอบงานก่อสร้างอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Abutment งานเดินสายไฟของเสาไฟฟ้าแสงสว่าง งานระบบระบายน้ำ งาน Approach Slab งาน Concrete Barrier งานโครงสร้างชั้นทางบนกำแพงกันดิน เป็นต้น เพื่อกำหนดขั้นตอนการทำงานให้มีความสอดคล้องกัน
- ตรวจสอบแบบหล่อคอนกรีต อุปกรณ์ และเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง
- จัดส่งตัวอย่างของวัสดุที่ต้องทำการทดสอบ ก่อนนำมาใช้งาน
- ตรวจสอบความสามารถการรับน้ำหนักของดินเดิม (Bearing Capacity) ที่รองรับแผ่นผนังคอนกรีต ตามแบบกำหนด

8.1 งานหล่อแผ่นผนังคอนกรีตกำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กะบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหน
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด

- ตรวจสอบขนาดคละ(Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ(Abrasion) และความสะอาดของ หิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
- ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง
- ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบและหลักวิชา
- ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน
- ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง(Bar Chair) รองรับให้แข็งแรง ไม่ทรุด
- ตรวจ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ
- ตรวจสอบรูปแบบแผ่นผนังคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด ซึ่งอาจเป็นแผ่นเต็ม หรือแผ่นไม่เต็ม ที่รหัสแตกต่างกัน
- ตรวจสอบตำแหน่งหูยกแผ่นผนังคอนกรีต ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด
- จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

งานเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) หรือข้อกำหนด
- ควบคุมที่โรงงานผสมคอนกรีต ตรวจสอบเวลาในการผสม (Mixing Time) ให้เหมาะสม
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท
- ตรวจสอบความข้นเหลว(Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)
- ตรวจสอบแบบหล่อขณะเทคอนกรีต หากมีความผิดปกติเกิดขึ้น ต้องแก้ไขในทันที
- ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด
- ตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม
- แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที

งานหลังเทคอนกรีต

- ควบคุมการถอดแบบ และการขนย้ายแผ่นผนังคอนกรีตออกจากแบบหล่อ มิให้เกิดความเสียหายเมื่อนำแผ่นผนังคอนกรีตไปติดตั้ง ความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน
- เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที
- ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ควบคุมให้มีการบ่มคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง

8.2 งานติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตกำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน

- ตรวจสอบแนวดิ่งของผนัง Abutment หากมีความคลาดเคลื่อน ให้ทำการแก้ไข
- ตรวจสอบแนว ระดับ ของฐานวางแผ่นผนังคอนกรีต ให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง
- ควบคุมการก่อสร้างฐานวางแผ่นผนังคอนกรีต ตามขั้นตอนการเตรียมงานเทคอนกรีต และงานเทคอนกรีต
- ตรวจสอบแนวขอบด้านนอก และกำหนดตำแหน่งของแผ่นผนังคอนกรีต เพื่อเตรียมติดตั้งให้เป็นไปตามแบบก่อสร้าง
- ควบคุมลำดับการติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตในสนาม ให้ตรงกับตำแหน่ง ตามหมายเลขประจำแผ่นที่กำหนด
- ตรวจสอบรายละเอียดต่างๆของแผ่นผนังคอนกรีตอีกครั้ง หากพบความเสียหายให้แก้ไข
- ตรวจสอบการวางแผ่นผนังคอนกรีต ที่ติดตั้งแล้วเสร็จ ต้องอยู่ในแนวดิ่ง รอยต่อระหว่างแผ่นผนังคอนกรีตแต่ละชั้นต้องอยู่ในระดับเดียวกัน ช่องว่างระหว่างแผ่นต้องชิด และระยะห่างโดยรอบสม่ำเสมอ มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 มม.
- ตรวจสอบการติดตั้งแผ่นรองรอยต่อ (Joint Pad) ระหว่างแผ่นผนังคอนกรีตในแนวระนาบราบ ให้มีจำนวนอย่างน้อย 2 แผ่น
- ตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของอุปกรณ์การยึดและค้ำยันแผ่นผนังคอนกรีต ในขณะติดตั้ง
- ตรวจสอบการติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) บริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นผนังคอนกรีต และบริเวณด้านข้าง Abutment ให้ยึดติดแน่นกับแผ่นผนังคอนกรีต
- ตรวจสอบวัสดุดินถม เครื่องมือ เครื่องจักร และวิธีการบดอัด ให้ได้ความแน่นตามข้อกำหนด การบดอัดให้ดำเนินการตามรายละเอียดและข้อกำหนดของการก่อสร้างทางหลวง โดยทำการบดอัดดินแต่ละชั้น จนถึงระดับที่ต้องติดตั้งสมอยึด (Anchor)
- ตรวจสอบจำนวน ความยาวของสมอยึด (Anchor) การใส่สลักยึดต่อกับแผ่นผนังคอนกรีต ให้เป็นไปตามที่กำหนดในแบบ
- ตรวจสอบการก่อสร้างโครงสร้างส่วนบน ให้เป็นไปตามแบบ

9. งานเบ็ดเตล็ด (Miscellaneous)

9.1 งานเบ็ดเตล็ดในการก่อสร้างสะพาน

ให้ตรวจสอบรายละเอียดประกอบแบบก่อสร้างของงานแต่ละรายการจากแบบและควบคุมให้ผู้รับจ้างดำเนินการให้เป็นไปตามข้อกำหนด

9.2 การตกแต่งรื้อถอน

ภายหลังจากที่ได้ดำเนินการก่อสร้างโครงสร้างส่วนต่างๆ เช่น เสา พื้น ราวสะพาน แล้วเสร็จ ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวนั้นมองเห็นได้ด้วยสายตา ควรทำการตกแต่งให้เรียบร้อยทันที เมื่องานแล้วเสร็จ

- เมื่อถอดแบบหล่อแล้ว ต้องแต่งผิวคอนกรีตที่เป็นรูพรุน ด้วยปูนซีเมนต์ผสมทรายละเอียด อัตราส่วน 1 : 1 เพื่ออุดรูพรุน ทำให้ผิวคอนกรีตเรียบและเกลี้ยงเท่านั้น ห้ามฉาบปูนทรายเป็นอันขาด ถ้าหากคอนกรีตเป็นรูโพรงจำนวนมาก จนเห็นว่าการอุดด้วยปูนผสมทรายละเอียด จะทำให้กำลังคอนกรีตส่วนนั้นเสื่อมไปให้สกัดส่วนนั้นออกทำการหล่อคอนกรีตใหม่

9.3 การรายงานผลงาน

- รายงานรูปตัดของลำน้ำสภาพที่แท้จริงและค่าระดับว่าตรงกับแบบ บ.4.2 หรือไม่ โดยเขียนรูปตัดลำน้ำใหม่ทับลงไปในแบบ บ.4.2 และระบุตำแหน่งของตอม่อ
- รายงานขั้นต้น
  - รายงานเริ่มดำเนินงานก่อสร้างของผู้รับจ้างให้เป็นไปตามสัญญา
  - รายงานชื่อของช่างควบคุมงานของบริษัทที่ประจำอยู่หน้างาน
  - รายงานการตรวจสอบจำนวนกรรมกรไทย
- การรายงานผลงานก้าวหน้าประจำเดือน โดยแบบ บ.4.2 ระบายสี
  - ส่งแบบ บ.4.2 ของแต่ละสะพานระบายสีแสดงผลงานก้าวหน้าประจำเดือน เดือนละ 1 ครั้ง
  - การระบายสีแสดงความก้าวหน้าของผลงานประจำเดือน ควรจะใช้สีละเดือนให้ระบุด้วยสีนั้นหมายถึงเดือนใด
  - ทุกครั้งที่มีการเทคอนกรีตส่วนต่างๆ เมื่อระบายสีแสดงผลงานก้าวหน้า ให้ระบุวันที่เทคอนกรีตด้วยทุกครั้ง
  - การตอกเสาเข็ม ให้บันทึกระดับปลายเสาเข็ม และวันที่ตอก สำหรับฐานแผ่ต้องบันทึกระดับที่กันฐานด้วย
  - แสดงลักษณะดินแต่ละชั้นที่ตรวจพบในการขุดดิน เพื่อทำการก่อสร้างฐานแผ่ลงระดับให้ชัดเจน

- แบบ บ.4.2 ควรมีอย่างน้อย 3 ชุด ระบายสีประจำเดือนพร้อมกัน ส่งให้สำนักฯ 1 ชุด เพื่อบันทึกสถิติ โดยช่างควบคุมงานเก็บไว้เป็นสำเนา 1 ชุด อีก 1 ชุด ให้สำหรับรายงานเดือนต่อไป

หมายเหตุ : ต้องส่งรายงานทันที อย่างช้าวันที่ 2 ของเดือนถัดไป

- กรณีเกิดปัญหาขึ้นในระหว่างการก่อสร้าง ซึ่งช่างควบคุมงานไม่อาจวินิจฉัยให้ถูกต้องได้ให้รายงานสำนักเจ้าของงาน เพื่อพิจารณาสั่งการโดยด่วน
- ช่างควบคุมงานทุกคนต้องมีสมุดบันทึกประจำวัน (Diary) เพื่อประโยชน์ในการทำรายงาน และเพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบในบางโอกาส ให้บันทึกรายละเอียดประจำวันต่อไปนี้
  - บันทึกวันที่ให้เรียบร้อย
  - ลักษณะดินฟ้าอากาศ เป็นต้นว่า ฝนตก เมฆมาก แจ่มใส ฯลฯ
  - งานที่ช่างควบคุมปฏิบัติ
  - งานที่ผู้รับจ้างทำได้
  - อุปสรรค (ถ้ามี)
  - กรณีที่ผู้รับจ้างหยุดงานหรือไม่ทำงาน ให้ลงหมายเหตุไว้ให้ชัดเจนว่าเพราะเหตุใด

หมายเหตุ : การทำบันทึกประจำวัน เป็นประโยชน์ต่อการตรวจสอบงานเป็น ช่างควบคุมงานจะต้องลงบันทึกการปฏิบัติงานประจำวันทุกวัน เมื่อเรียกตรวจสอบจะต้องแสดงได้ทันที และเมื่องานก่อสร้างแล้วเสร็จให้ส่งสมุดบันทึกประจำวันเก็บพร้อม กับประวัติงานก่อสร้างด้วย

9.4 การตรวจรับงานและการจ่ายค่างาน

- งานจ้างเหมาก่อสร้างสะพาน เป็นไปตามระเบียบของสำนักนายกรัฐมนตรี เรื่อง การจ้าง ซึ่งจะต้องมีกรรมการตรวจการจ้างอย่างน้อย 3 นาย โดยปกติจะมีเจ้าหน้าที่จากสำนักทางหลวง แขวงฯ และตัวแทนของสำนักฯ หรือนายช่างโครงการฯ กรรมการตรวจการจ้างมีหน้าที่รับผิดชอบร่วมกันในการควบคุมตรวจสอบให้การจ้างเป็นไปตามข้อกำหนดในสัญญา
- การตรวจรับงานตามงวดการจ่ายเงิน ผู้รับจ้างจะต้องทำหนังสือถึงนายช่างโครงการฯ ว่าได้ทำงานเสร็จเรียบร้อยตามงวดการจ่ายเงิน ขอให้ตรวจรับ โดยนายช่างโครงการฯ ต้องทำบันทึกเสนอประธานกรรมการตรวจการจ้าง เพื่อนัดคณะกรรมการตรวจการจ้างให้ทำการตรวจรับงานต่อไป

หมายเหตุ : งานจะต้องเสร็จเรียบร้อยตามงวดจ่ายเงินจริงๆ เป็นต้นว่า งวดที่ 1 ก่อสร้างตอม่อแล้วเสร็จ 4 ตับ และหล่อพื้นสะพานได้ยาว 20.00 เมตร นั้น หมายถึงผู้รับจ้างได้ทำการก่อสร้างแล้วเสร็จตามเนื้องานดังกล่าว รวมทั้งได้ถอดแบบเมื่อครบกำหนดอายุสัญญา และได้ตกแต่งเรียบร้อย

แล้วทุกประการ อย่าทำบันทึกล่วงหน้าเสนอคณะกรรมการให้ตรวจรับ โดยเชื่อว่างานจะเสร็จเรียบร้อยทันเวลา เมื่อคณะกรรมการทำการตรวจรับ หรือเพราะเห็นว่าคณะกรรมการกว่าจะพร้อมกันมาทำการตรวจรับอีกหลายวัน การกระทำดังกล่าวให้ละวันโดยเด็ดขาด

- การตรวจรับงานจ่ายเงินงวดสุดท้าย ซึ่งงานจะต้องเสร็จครบถ้วนบริบูรณ์ตามสัญญาและแบบแปลนทุกประการ และได้ส่งมอบงานให้แก่ผู้ว่าจ้าง หรือผู้แทนรับไว้เรียบร้อยแล้ว ให้ปฏิบัติดังนี้
  - ช่างควบคุมงานตรวจสอบโดยละเอียดว่า งานที่ผู้รับจ้างได้ก่อสร้างแล้วเสร็จนั้นถูกต้องตามสัญญาครบถ้วนบริบูรณ์ทุกประการ เป็นต้นว่า ได้ถอดแบบรื้อนั่งร้าน รื้อโรงงาน รื้อสะพานเบี่ยง รื้อบ้านพัก และได้ขนออกจากบริเวณเรียบร้อยแล้วเกลี่ยและตกแต่งดินให้เป็นไปตามสภาพเดิมหรือตามที่แบบกำหนดแล้วเสร็จ
  - เมื่อผู้รับจ้างได้ทำหนังสือถึงช่างควบคุมงานว่าได้ทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้วตามสัญญาทุกประการแล้ว และขอให้ทำการตรวจรับ ให้ช่างควบคุมงานบันทึกรับรองว่าผู้รับจ้างได้ทำงานแล้วเสร็จบริบูรณ์ตามสัญญา เมื่อวันที่เท่าใด ขอให้คณะกรรมการทำการตรวจรับต่อไป และพร้อมกันนั้น ให้ผู้รับจ้างทำหนังสือขอมอบงานให้ผู้ว่าจ้างหรือผู้แทนด้วย ในหนังสือมอบงานจะต้องระบุวันที่ทำงานแล้วเสร็จบริบูรณ์ตามสัญญาให้ชัดเจน การลงนามรับมอบงาน คณะกรรมการตรวจรับต้องลงนามร่วมกันในวันที่ทำการตรวจรับงาน

หมายเหตุ : สำนักฯ จะดำเนินการเบิกจ่ายเงินให้แก่ผู้รับจ้าง เมื่อผลการทดลองแท่งคอนกรีตชุดสุดท้ายที่ 28 วัน ใช้ได้ (สำนักฯ จะเป็นผู้ตรวจสอบผลการทดลอง)

: กรณีที่ผู้รับจ้างไม่สามารถจะรื้อสะพานเบี่ยงได้ เนื่องจากทางแขวงการทางฯไม่ดำเนินการถมดินคอสะพาน เพื่อให้การจราจรผ่านไปมาได้ ให้นัดประชุมคณะกรรมการตรวจการจ้าง เพื่อหาข้อสรุป

: กรณีที่ผู้รับจ้างจะทำงานแล้วเสร็จ ในระยะเวลาใกล้เคียงกับวันสิ้นสุดสัญญาหรือไม่สามารถทำงานแล้วเสร็จในกำหนดสัญญา เพื่อขจัดปัญหาในเรื่องวันที่การแล้วเสร็จและเพื่อความรอบคอบ เพราะจะสืบเนื่องเกี่ยวกับการปรับให้ช่างควบคุมงานทำบันทึก (สำเนาเก็บไว้ด้วย) แจ้งคณะกรรมการตรวจการจ้างล่วงหน้าอย่างน้อยประมาณ 7 วัน ว่างานจะแล้วเสร็จบริบูรณ์ตามสัญญาประมาณเมื่อใด ขอให้มาตรวจสอบ เพื่อเห็นชอบในวันทำการแล้วเสร็จร่วมกัน

บรรณานุกรม

1. ก่อสร้างทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงพิเศษ. คู่มือการควบคุมงานก่อสร้างสะพานและท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก. ปรับปรุงครั้งที่ 3, กรมทางหลวง, กระทรวงคมนาคม กรุงเทพฯ, 2518.
2. กรมทางหลวง. รายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 2. กรมทางหลวง, กระทรวงคมนาคม กรุงเทพฯ, 2536.
3. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ. แบบหล่อคอนกรีต. คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2529.
4. ต่อกุล กาญจนาลัย. การออกแบบคอนกรีตอัดแรง, หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซนเตอร์, 2528. หน้า 198 - 200
5. สนั่น เจริญเผ่า, วินิต ช่อวิเชียร, การออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก, พิมพ์ครั้งที่ 7, หจก. ป.สัมพันธ์พานิช, 2530
6. สนั่น เจริญเผ่า, วินิต ช่อวิเชียร, คอนกรีตเสริมเหล็ก, พิมพ์ครั้งที่ 8, หจก. ป.สัมพันธ์พานิช
7. เสรี สุงาม, Reinforced Earth Wall, ศูนย์สร้างและบูรณะสะพานที่ 2, สำนักก่อสร้างสะพาน, กรมทางหลวง, 2541.
8. แบบมาตรฐานกรมทางหลวง, กระทรวงคมนาคม .2538
9. Bowles , J.E. , Foundation Analysis and Design , Fourth Edition , Mc Graw – Hill Book Company , 1988 , P.409.
10. Timoshenko , S.P. , and Gere , J.M., Theory of Elastic Stability , Second Edition , Mc Graw – Hill Book Company , 1986 , P.P. 6-10 , P.P. 46-53 , P.P. 94 – 98.
11. Colin J.F.P. Jones, Earth Reinforcement and Soil structures, Butterworths Advanced Series in Geotechincal Engineering, 1985
12. Manfred R. Hansmann, Engineering Principle of Ground Modification, Mc Graw - Hill Publishing Company , 1990
13. T.S. Ingold, Reinforced Earth, Thomas Telford Ltd, London, 1982
14. Reinforced Earth (S.E.A.) Pte Ltd, Reinforced Earth and Retaining Walls ,1996
15. Reinforced Earth (S.E.A.) Pte Ltd, Reinforced Earth and Bridge Abutment ,1996

ภาคผนวก – ก

การก่อสร้างเสาเข็ม

การหาความยาวเสาเข็มก่อนทำการก่อสร้าง

- ตรวจสอบข้อมูลการก่อสร้างเสาเข็มในพื้นที่ใกล้เคียงสถานที่ก่อสร้าง
- เจาะสำรวจสภาพชั้นดิน (Boring Log) อย่างน้อย 3 แห่ง หรือเท่าจำนวนตอม่อสะพาน กรณีสะพานขนาดใหญ่
- เจาะสำรวจสภาพชั้นดินบริเวณใกล้เคียงตำแหน่งฐานราก ทดสอบค่า SPT (Standard Penetration Test) เพื่อใช้คำนวณกำลังรับน้ำหนักโดยประมาณของเสาเข็ม การเจาะสำรวจต้องเจาะลึกมากพอ เพื่อทราบความหนาของชั้นดินใต้ปลายเสาเข็ม
- คำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มที่แบบกำหนด โดยพิจารณาลักษณะชั้นดินและสมมุติความยาวเสาเข็ม ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้ต้องไม่น้อยกว่า 3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้ (Design Load) หรือตามที่วิธีการคำนวณแต่ละวิธีกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น
- กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มประกอบด้วยแรงเสียดทานผิวระหว่างเสาเข็มกับชั้นดินแต่ละชั้น และแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม
- ตรวจสอบข้อมูล และการคำนวณก่อนเสนอให้สำนักสำรวจและออกแบบพิจารณาให้ความเห็นชอบ ในกรณีเสาเข็มเจาะ
- ตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มชนิดเสาเข็มตอกด้วยสูตร Hileys Formula หรือทดสอบด้วย Static Load Test ทั้งในกรณีเสาเข็มตอก และเสาเข็มเจาะ

เสาเข็มตอก Driving Pile

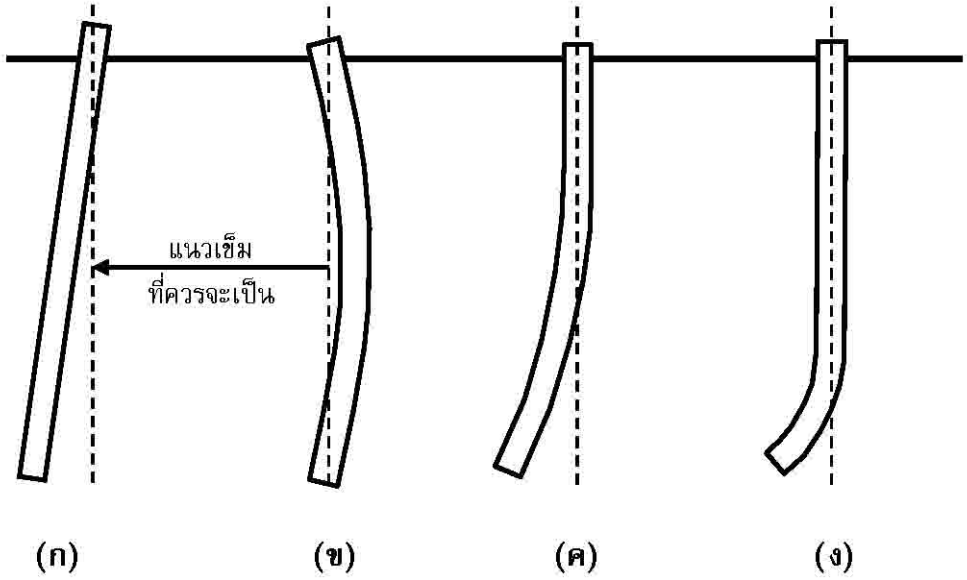
ปัญหาของเสาเข็มตอก สามารถอธิบายถึงสาเหตุและการแก้ไขได้ดังนี้

ปัญหา	สาเหตุ	การป้องกัน การแก้ไข
1. เสาเข็มแตก	- คุณภาพคอนกรีตของเสาเข็ม	- ตรวจสอบคุณภาพ บางครั้งอายุเสาเข็มคอนกรีตอาจจะไม่ได้ครบกำหนด
	- Tensile Stress เกิดขึ้น มากเกินไป เนื่องจากการตอกเสาเข็ม Prestressed Concrete ที่มีขนาดยาวผ่านชั้นดินอ่อนซึ่งมีความหนามาก หรือ กรณีตอกไปยังชั้นดินแข็งบางๆ ที่ขวางกั้นหรือชั้นดินแข็งมากๆ หรือหิน	- ลดระยะยก Stroke - การเพิ่มไม้เนื้ออ่อน เป็น Cushion Material ระหว่าง Helmet กับเสาเข็ม - ควบคุม Tensile Stress
	- จาก Tensile Stress รวมกับ Torsional Stress อันเนื่องมากจากการจำกัด การเคลื่อนไหว ระหว่างเสาเข็มกับปั้นจั่นโดยประกับหัวเสาเข็มหรือช่องว่างระหว่างหมวกกับตัวเสาเข็ม แน่นและคับมาก	- ปรับให้เสาเข็มสามารถเคลื่อนตัวได้ขณะทำการตอกเสาเข็ม
2. หัวเสาเข็มแตก	- Over Compressive Stress จากแรง Impact ของปั้นจั่นที่มากเกินไป หรือ Pile Cushion ไม่พอเพียงหรือ Pile Cushion หมดสภาพการใช้งาน	- โดยการใช้น้ำหนักตุ้มและปั้นจั่นให้เหมาะสมกับน้ำหนักเสาเข็ม - โดยการควบคุมระยะยก ใช้ตุ้มขนาดใหญ่ยกต่ำๆ ดีกว่า ตุ้มเล็กยกสูง - โดยการเพิ่ม Pile Cushion ให้หนาขึ้น
	- Bending Stress อันเนื่องมาจากพื้นที่หน้าตัดหัวเข็มไม่สม่ำเสมอหรือไม่ตั้งฉาก แรงกระแทกจากปั้นจั่นนั้น จะไปยังจุดหนึ่งจุดใดของหัวเข็มแทนที่จะทั่วทั้งพื้นที่ของหัวเข็ม	- จัดระนาบให้ตั้งฉากกับหน้าปั้นจั่น ที่กระแทกลงบนพื้นที่หัวเสาเข็มอย่างเต็มระนาบ ตรวจดูPile Alignment และตรวจดู Hammer, Lead Alignment
	- Prestressing Steel ไม่ไปสุดที่ปลายเสาเข็มทำให้เกิด Stress มากเกินไปบริเวณหัวเสาเข็ม	- การผลิตเสาเข็ม และ การควบคุมให้เป็นไปตามแบบ
	- มี Spiral หรือ Stirrup Reinforcement ไม่พอ	- เพิ่มเหล็กเสริม Spiral หรือ Stirrup ส่วนที่ยังไม่พอเพียง โดยเฉพาะส่วนหัว
	- หัวเสาเข็มแตกจากการที่เครื่องจักรเหยียบย่ำ	- หลีกเลี่ยง
3. เสาเข็มบิ่น	- Over Bending Stress จากความไม่ราบเรียบของพื้นที่หน้าตัดของหัวเสาเข็มอาจเนื่องจากด้านบนและด้านข้างของเสาเข็มคอนกรีต มี Chamfer ไม่เท่ากัน	- ควบคุมการผลิตเสาเข็มให้เป็นไปตามแบบ

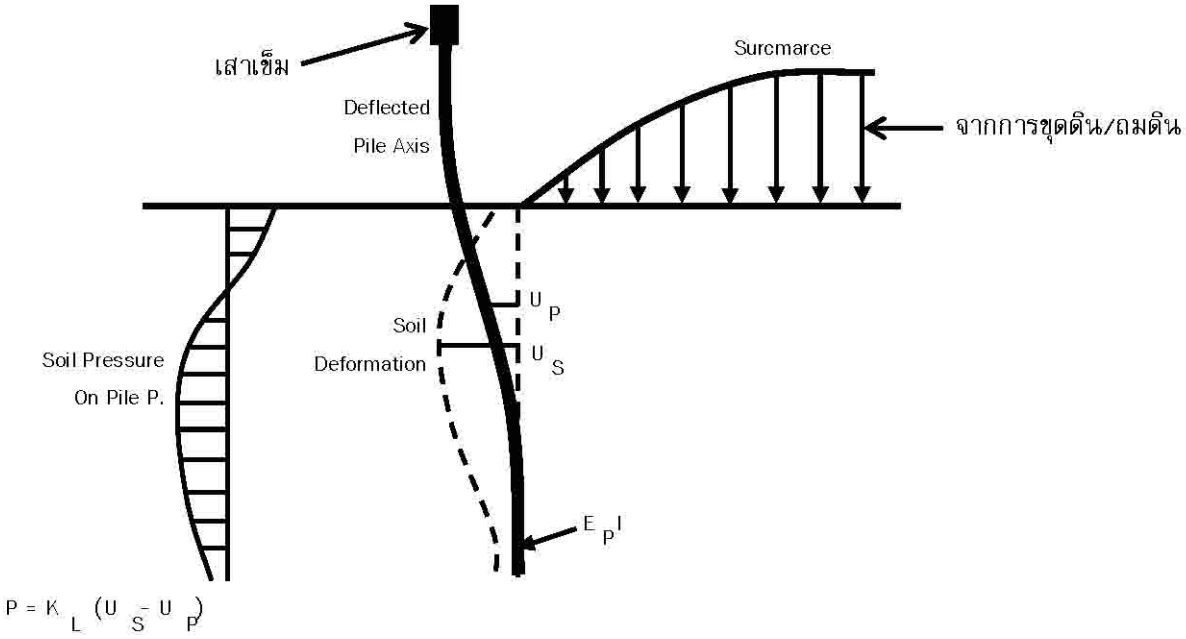
ปัญหา	สาเหตุ	การป้องกัน การแก้ไข
	- Over Bending Stress จากการกระแทกของปั้นจั่นลงพื้นที่หน้าตัดด้านบนของเสาเข็มไม่เต็มพื้นที่	- รักษาแนว Alignment ของเสาเข็มและปั้นจั่นให้ตั้งฉาก
	- Over Compressive Stress เนื่องจาก Pile Cushion ไม่เพียงพอ บางเกินไป หรือหมดสภาพการใช้งาน	- เพิ่มความหนา และเปลี่ยนเมื่อหมดอายุ
	- บิ่นเนื่องจากการขนส่ง ความไม่เข้าใจในการวางเสาเข็ม การยกเสาเข็ม เข้าไปยังบริเวณก่อสร้างให้รับการกระแทก	- ทำความเข้าใจในการยกเสาเข็ม การขนส่งเสาเข็ม การวางเสาเข็มให้ถูกต้อง
4. เสาเข็มหัก	- Over Compressive Stress จากแรงกระแทกของปั้นจั่นมากเกินไปหรือ Pile Cushion น้อยเกินไปหรือหมดสภาพการใช้งาน	- ควบคุมการตอกเสาเข็ม - เพิ่ม/เปลี่ยน Pile Cushion
	- Over Tensile Stress จาก Wave Up/Wave Down ในการตอกเสาเข็มคอนกรีตขนาดยาวผ่านชั้นดินอ่อน	- ควบคุมการตอกเสาเข็ม - ตรวจวัด Tensile Stress
	- รอยเชื่อม รอยต่อขณะทำการตอก - หน้าตัดเสาเข็มไม่สม่ำเสมอโดยเฉพาะอย่างยิ่งเสาเข็มกลวง	- ปรับปรุงคุณภาพของการเชื่อมเสาเข็มต่อมาตรฐาน AWS - ควบคุมการผลิต,ความแข็งแรงของแบบแกนใน
	- เสาเข็มหักที่ปลายเสาเข็ม เนื่องจากการตอกเสาเข็มไปยังชั้นดิน แข็งมากๆ หรือชั้นหิน	- ใส่ Pile Shoe หรือ Pile Tip หรือเพิ่มเหล็กเสริมตรงปลายเสาเข็ม
	- เสาเข็มส่วนบนหัก เนื่องมาจากความพยายามใช้ Back Hoe ดึง เพื่อให้ถึง Cut Off Elevation ทำอันตรายกับเสาเข็ม	- หลีกเลี่ยงการใช้ Back Hoe ใช้ใบมีดตัดหัวเสาเข็ม
5. เสาเข็มผุ	- เสาเข็มไม้ผุจากสภาพอากาศและธรรมชาติที่แปรปรวน เช่น ระดับน้ำใต้ดิน	- กรณีที่เสาเข็มไม่จมดินทั้งหมด ให้ใช้เสาเข็มไม้ที่ได้ทำ Preservative Treatment แล้ว
	- เสาเข็มเหล็กผุจากสภาพธรรมชาติ เช่น จากน้ำทะเล	- จัดทำ Corrosion Protection ให้เพียงพอก่อนใช้งาน
	- เหล็กเสริมในเสาเข็มเป็นสนิม เนื่องจากรอยร้าวในเสาเข็ม	- ป้องกันไม่ให้เสาเข็มแตกหรือร้าว, เพิ่ม Covering
6. เสาเข็มร้าว	- การบ่ม คอนกรีต ไม่เพียงพอคอนกรีตยังไม่ได้อายุ	- ควบคุมการผลิต
	- การขนส่ง การวางเสาเข็ม การยกไปใช้งานไม่อยู่ในตำแหน่งจุดยกตามแบบ	- ควบคุม Handling Stress

ปัญหา	สาเหตุ	การป้องกัน การแก้ไข
	- Over Tensile Stress จากแรงกระแทกของปั้นจั่นมากเกินไป หรือ Pile Cushion น้อยเกินไป/หมดสภาพการใช้งาน	- ควบคุมการตอกเสาเข็ม - เพิ่ม/เปลี่ยน Pile Cushion - ควบคุม Tensile Stress
	- Over Compressive Stress จาก Wave Up/Wave Down ในการตอกเสาเข็มคอนกรีตขนาดยาวผ่านชั้นดินอ่อน หนาๆ หรือไปกระทบชั้นดินแข็ง	- ควบคุมการตอกเสาเข็ม
7. เสาเข็มเอียง	- เนื่องจากแรงดันด้านข้างของดินอ่อนจากการเปิดหน้าดินจากการขุด	- ระมัดระวังในการก่อสร้าง Surcharge ที่มีผลต่อเสาเข็มที่ตอกไปแล้ว
	- เนื่องจากรอยเชื่อมต่อระหว่างเสาเข็ม 2 ท่อนได้หลุดออก - ตอกเสาเข็มบนดินถม Embankment ที่เพิ่งถมเสร็จ อาจทำให้เกิด Lateral Squeeze ทำให้เสาเข็มเอียง	- เช็ค Pile Integrity เพื่อหาสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็ม - รอดินถมให้เกิด Settlement จนถึง 90 % Consolidation ก่อนทำการตอกเสาเข็ม
8. เสาเข็มหนีศูนย์	- จาก Pile Alignment กับแนวของปั้นจั่นขณะทำการตอกไม่ตรงกัน	- ควบคุมการตอกเสาเข็มให้ถูกต้อง
	- ความผิดพลาดเนื่องจาก การกำหนดตำแหน่งเสาเข็ม	- หา Reference หมุดหลักที่ถูกต้อง - ตรวจสอบการวัดระยะให้ถูกต้อง
	- แรงดันด้านข้างของดิน จากการตอกเสาเข็มทำให้เสาเข็มต้นที่ตอกก่อนมีการเคลื่อนตัว	- จัดแผนภูมิการตอกเสาเข็ม ให้เกิดการเคลื่อนที่ของดินน้อยที่สุด
	- แรงดันดินด้านข้าง ซึ่งเกิดจากดินถมช่วงเปิดหน้าดิน	- หลีกเลี่ยง Surcharge บริเวณที่ตอกเสาเข็ม
9. เสาเข็มไม่ได้ Blow/เข็มไม่ได้ Set	- ขึ้นอยู่กับ Criteria ที่ต่างกันส่วนใหญ่ที่มาจาก Dynamic Formula จากปั้นจั่น และอุปกรณ์ การตอกทำให้ค่าที่ได้ Over Conservative เช่น การใช้ Hiley's Formula	- ใช้ Wave Equation Analysis of Pile ในการวิเคราะห์หาจำนวน Blow Count โดยอาจเปรียบเทียบกับสูตร Dynamic Formula หลายๆสูตร - หากตอกไปลึกพอสมควรยังไม่ได้ Blow Count อาจจะหยุดที่ความลึกของเสาเข็มขณะนั้นแต่ให้Verify หาการรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยการใช้ Static หรือ Dynamic Load Test
	- ความผิดปกติของชั้นดิน ที่ไม่มี Soil Boring เลย	- เจาะสำรวจดินบริเวณนั้น
	- เสาเข็มอาจจะหัก	- เช็คโดย Pile Integrity Test หาความสมบูรณ์
10. เสาเข็มไม่ได้ Pile Tip ที่กำหนด	- ไม่มีข้อมูล Structure Subsurface Investigation เลย	- เจาะสำรวจดินทำ Soil Boring

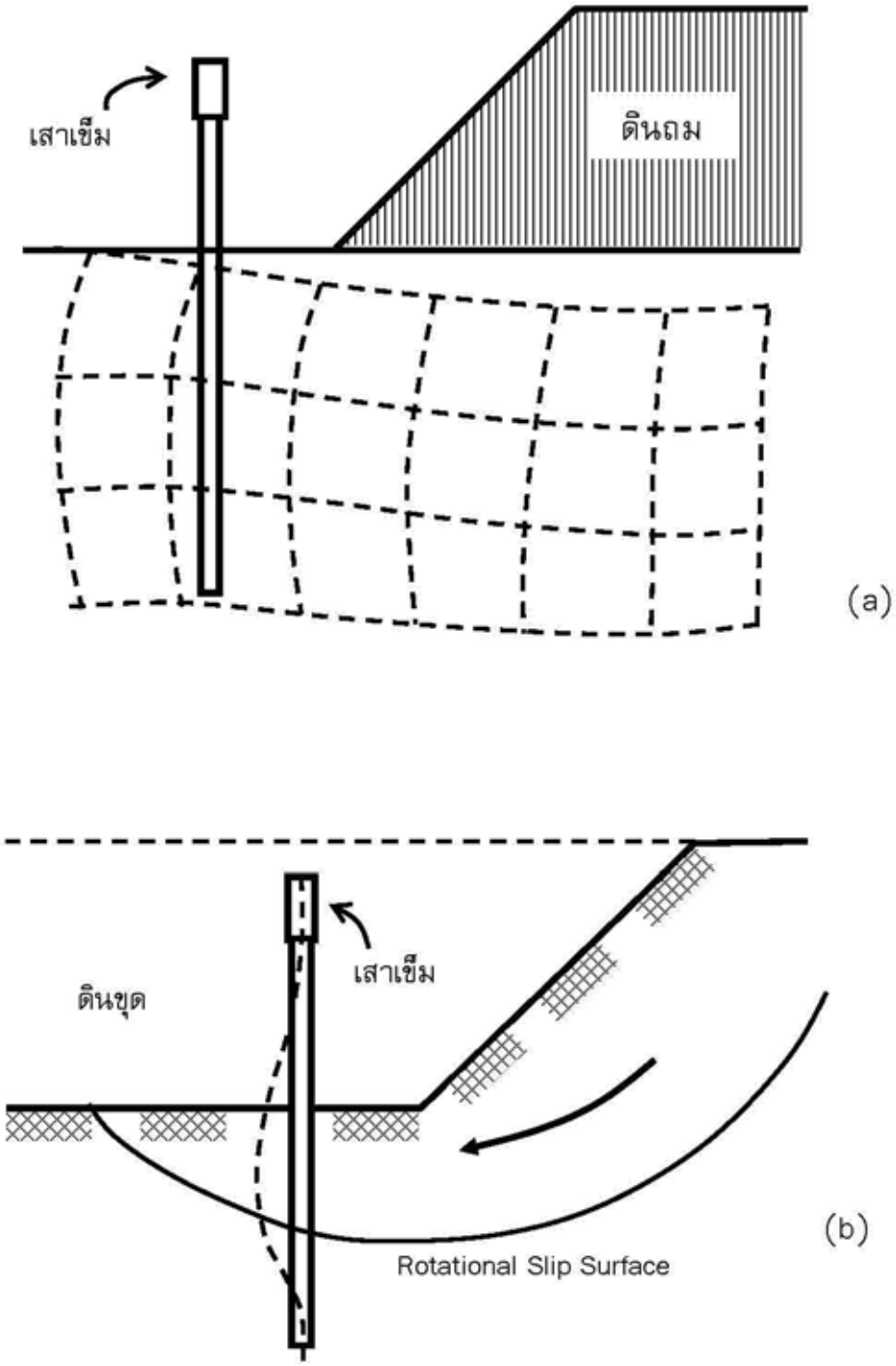
ปัญหา	สาเหตุ	การป้องกัน การแก้ไข
	- ความผิดพลาด จากวิศวกรผู้ออกแบบ/คุมงานที่ระดับชั้นทรายจาก Soil Boring เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา Tip Elevation เข็มจะเสียหายเนื่องจากพยายามเข่นเสาเข็มให้ลงไปถึง Tip ที่ต้องการทำให้เกิด Overstress ทำอันตรายต่อเสาเข็ม	- Redesign/Anlysis ในการพิจารณาให้ใช้ Blow Count ประกอบ หาก Blow Count ได้ก่อนถึง Tip ที่ต้องการให้หยุดแล้ว Verify โดยการใช้ Static หรือ Dynamic Load Test
11. เสาเข็มสั้นเกินไป	- ไม่มี Soil Boring	- ให้เจาะสำรวจดิน
	- เสาเข็มยังไม่ได้ Blow Count	- ให้ต่อความยาวของเสาเข็มให้ยาวขึ้นหากสงสัยให้หาน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธี Static หรือ Dynamic Load Test
12. เสาเข็มยาวเกินความจำเป็น	- Over Conservative จากการใช้ Dynamic Formula ในการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม	- Redesign/Analysis - หากขัดแย้งกับ Soil Boring ให้ Verify Load หาน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยใช้ Dynamic หรือ Static Load Test - ถ้าหัวเสาเข็มโผล่เกินระยะกว่าที่ฝัง Dowel ไว้ให้เจาะหัวเสาเข็มลงไปลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร แล้ว จึงเสียบเหล็ก Dowel ใหม่พร้อมกับอุดรูเจาะด้วย Epoxy



รูปที่ 1 เสาเข็มหนีศูนย์ (ก) เสาเข็มตรงแต่แกนเสาเข็มเอียง
(ข) เสาเข็มงอที่หัว และปลาย
(ค) ปลายเสาเข็มงอ
(ง) ปลายเสาเข็มคดเนื่องจากชั้นหินที่ปลาย



รูปที่ 2 ปัญหาเสาเข็มเอียงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดินทางด้านข้าง



รูปที่ 3 ปัญหาเสาเข็มเอียงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดินทางด้านข้าง

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยใช้ Hiley's Formula

(ตามแบบมาตรฐาน Sheet No.177)

เสาเข็มยาว 15 ม., ลูกตุ้มหนัก 4.0 ตัน, เสาเข็มขนาด 0.40 x 0.40

L = 15 ม. W = 4.0 ตัน

P = 0.40 x 0.40 x 15 x 2.4 = 5.76 ตัน

e = 0.25 h = 100 ซม. E = 0.80

$$n = \frac{w+pe^2}{w+p} = \frac{4+(5.76)\,(0.25)^2}{4+5.76} = \frac{4.36}{9.76} = 0.44672$$

$A = 40 \times 40 = 1{,}600$ ซม.^{2}

L_2 = 0.05 ม., S = 1.0 ซม.

$$C_1 = 0.72\,\frac{R}{A}\,L = \frac{072 \times R \times 15}{1{,}600} = 0.00675\ R$$

$$C_2 = 1.1\,\frac{R}{A}\,L_2 = \frac{1.1 \times R \times 0.05}{1{,}600} = 0.00003\ R$$

$$C_3 = 3.6\,\frac{R}{A} = \frac{3.6 \times R}{1{,}600} = 0.00225\ R$$

$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0.00903\ R$

สูตร $R = \frac{n.\ W.\ H.\ E}{S+C/2}$ $R = \frac{044672 \times 4 \times 100 \times 0.8}{1.0 + 0.004515\ R}$

$0.004515\ R^2 + R - 142.9504 = 0$

$$R = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$R = \frac{-1 \pm \sqrt{(1)^2 - 4(0.004515)(-142.9504)}}{2(0.004515)}$$

$$R = \frac{-1 \pm \sqrt{3.58168}}{0.00903}$$

$$R = \frac{-1+1.892534}{0.00903}$$

$$R = \frac{0.892534}{0.00903}$$

R = 98.84 ตัน ใช้ 99 ตัน

เสาเข็มเจาะ (Bored Pile)

งานก่อสร้างในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด ย่านชุมนุมชน งานก่อสร้างชิดอาคารเดิม หรือมีปัญหาเส้นทางลำเลียง วัสดุที่จำกัด จำเป็นที่จะต้องใช้เสาเข็มเจาะ เนื่องจากสามารถทำได้ในที่แคบ และชิดอาคารเดิมทำได้ไม่เกิดความเสียหายต่ออาคารข้างเคียง ขนาด และความยาวของเสาเจาะสามารผลิตได้ตามข้อกำหนดการรับน้ำหนักของวิศวกรผู้ออกแบบหรือตามสภาพชั้นดินของภูมิภาคนั้น ปัจจุบันนี้เสาเข็มเจาะเป็นที่นิยมใช้ทั่วไป เนื่องจากสามารถทำได้ทุกสภาพพื้นที่ทั่วประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหมาะกับการก่อสร้างในเขตชุมชน ที่ไม่ต้องการให้เกิดแรงสั่นสะเทือนเสาเข็มเจาะขนาดเล็กที่ใช้กันทั่วไป มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35, 40, 50, 60 เซนติเมตร ความยาวของเสาเข็มตามสภาพดินและข้อกำหนดการรับน้ำหนักบรรทุก ความลึกควรถึงระดับชั้นทราย เสาเข็มเจาะขนาดเล็กทำในระบบเจาะแห้ง (Dry Process) เสาเข็มชนิดนี้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ขนาดเล็ก และไม่ยุ่งยากนักเคลื่อนย้ายได้สะดวกและไม่ต้องการบริเวณทำงานมากนัก

อุปกรณ์หลักประกอบด้วย ขาหยั่งเหล็ก 3 ขา ปลายบนติดรอกเดี่ยว เรียกสั้น ๆ ว่า Tripod Rig ใช้เครื่องอัดลม (Air Winch) เป็นเครื่องจักรกลหลักในการเจาะ ยก ดึง หรือถอดปลอกเหล็ก

ขั้นตอนในการทำเสาเข็มเจาะขนาดเล็กมีดังนี้

ขั้นที่ 1 เมื่อจัดเครื่องมือเข้าศูนย์กลางเสาเข็มเจาะแล้วใช้กระเช้า (Boring Tackle) เจาะนำเป็นรูปลึกประมาณ 1.00 เมตร เรียกว่า Pre - Bored

ขั้นที่ 2 ตอกปลอกเหล็ก (Casing) ซึ่งโดยปกติจะทำเป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 1.20 เมตร ถึง 1.30 เมตร ต่อกันด้วยเกลียวลงไปในรูเจาะด้วยความระมัดระวังอย่าให้ปลอกเหล็กเอียงให้ตั้งอยู่ในแนวดิ่งจนกระทั่งถึงชั้นดินแข็งปานกลาง (Medium Clay) ในบริเวณกรุงเทพมหานคร อยู่ในชั้นลึกประมาณ 12.00 – 15.00 เมตร

ขั้นที่ 3 เจาะเอาดินออกโดยใช้กระเช้าชนิดที่มีลิ้นที่ปลาย อาศัยน้ำหนักของตัวมันเองเมื่อกระเช้าถูกทิ้งลงไปในรูเจาะ ดินจะถูกอัดเข้าไปอยู่ในกระเช้าและจะไม่หลุดออกเพราะมีลิ้นกั้นอยู่เวลายกขึ้นมา ทำซ้ำเช่นนี้จนกระทั่งดินถูกอัดเต็มกระเช้าจึงนำขึ้นมาเทออก การเจาะเช่นนี้จะดำเนินไปถึงชั้นดินทราย ซึ่งในกรุงเทพมหานครอยู่ในชั้นความลึกประมาณ 18.00 – 23.00 เมตร และตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ของหลุมเจาะ

ขั้นที่ 4 หย่อนโครงเหล็กที่ผูกเตรียมไว้ตามขนาดและจำนวนที่วิศวกรผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ลงไปจนกระทั่งถึงระดับที่ต้องการ

ขั้นที่ 5 เทคอนกรีตลงไปในหลุมเจาะโดยต้องผ่านกรวย Hopper ปลายกรวยควรเป็นท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 150 – 200 มิลลิเมตร ยาวท่อนละประมาณ 1.00 เมตร จนถึงก้นหลุมเพื่อให้คอนกรีตหล่นสู่ก้นหลุมตรง ๆ ไม่ปะทะผนังเสาเข็มเจาะ ซึ่งจะทำให้คอนกรีตแยกตัวได้ คอนกรีตที่ใช้ในเสาเข็มเจาะโดยปกติจะเป็นคอนกรีตที่ไม่ใช้เครื่องเขย่า หรือเครื่องจี้คอนกรีต แต่จะใช้อัดลมแทน ดังนั้น จึงต้องให้มี Workability สูงโดยใช้ค่าการยุบตัว (Slump) ระหว่าง 10 – 15 เซนติเมตร

ขั้นที่ 6 เมื่อเทคอนกรีตจนกระทั่งถึงระดับประมาร 5.00 เมตร จากหลุมเจาะเริ่มถอนปลอกเหล็กออกเป็นท่อน ๆ ก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว

ขั้นที่ 7 เมื่อถอนปลอกเหล็กขึ้น คอนกรีตจะยุบตัวลงตามปริมาณความหนาของปลอกเหล็กที่ใช้รวมกับการอัดตัวของคอนกรีตแน่น ดังนั้น เข็มเจาะทุกต้นจึงควรเทคอนกรีตให้สูงกว่าระดับหัวเข็มตามแบบเผื่อไว้ด้วย หากพบว่าคอนกรีตยุบตัวลงไปต่ำกว่าระดับที่ต้องการ จะต้องเติมคอนกรีตจนพอก่อนที่จะถอนปลอกเหล็กออกหมด

ขนาดเสาเข็มเจาะ และความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยในเขตกรุงเทพฯ

ขนาดของเสา Pile Size (cm)	พื้นที่หน้าตัด Cross Section ($cm.^2$)	เส้นกรอบรูป Perimeter (cm)	ระดับความลึก Depth (m)	รับน้ำหนักปลอดภัย Safe Load (Ton)	หมายเหตุ
Ø 35	962	110	18 – 13	25 – 35	Dry Process
Ø 40	1,257	126	18 - 25	40 – 50	"
Ø 50	1,964	157	18 – 25	60 – 80	"
Ø 60	2,828	188	18 – 25	90 –120	"
Ø 0.80	5,028	251	40 – 44	325 – 385	Wet Process
Ø 1.20	11,314	377	44 – 46	450 – 480	"
Ø 1.50	17,678	471	45 – 48	600 – 640	"
Ø 2.00	31,428	628	55 – 61	1,600	"

หมายเหตุ 1) ความยาวของเสาเข็มเปลี่ยนแปลงได้ตามคุณสมบัติของชั้นดิน ค่าการรับน้ำหนักบรรทุกที่ ต้องการจะทำการเจาะสำรวจดิน Soil Investigation ก่อนที่จะลงมือทำเสาเข็มเจาะ

2) ระดับความลึกและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มเจาะในตารางเป็นค่าโดยประมาณของพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล

ข้อกำหนดงานเสาเข็มเจาะระบบเปียก

ข้อกำหนดทั่วไป

- ขนาดและความยาวเสาเข็มเจาะ เป็นไปตามรายละเอียดที่ระบุในแบบ
- วัสดุที่ใช้เป็นไปตามรายละเอียดในแบบ
- วิธีการเจาะให้ใช้ปลอกเหล็กชั่วคราว (Temporary Casing) เพื่อป้องกันการพังของดินในหลุมหรือปากหลุมขณะเจาะ โดยใช้สารละลายเบนโทไนท์ (Bentonite Slurry) เป็นตัวป้องกันหลุมเจาะพังทลาย เสาเข็มเจาะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กตามแบบซึ่งหล่อในที่ก่อสร้าง
- ผู้รับจ้างต้องเสนอรายละเอียดวิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ ประกอบด้วย ระยะเวลาและวิธีการใส่โครงเหล็ก ภายหลังจากเจาะดินจนถึงปลายเสาเข็ม ระยะเวลาและวิธีการกำจัดตะกอนก้นหลุม ระยะเวลาในการเทคอนกรีต วิธีการตรวจสอบตะกอนก้นหลุม รายละเอียดวัสดุ Shop Drawing และอื่นๆ เพื่อให้วิศวกรผู้ควบคุมงานและผู้ออกแบบอนุมัติ 7 วันก่อนทำเสาเข็มต้นแรก อย่างไรก็ตามผู้รับจ้างและวิศวกรผู้ควบคุมงานอาจจะร่วมกันพิจารณาทบทวนวิธีการดังกล่าวเพื่อปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพจริง เพื่อให้คุณภาพเสาเข็มดีขึ้น และขออนุมัติต่อวิศวกรผู้ออกแบบ หลังจากดำเนินการก่อสร้างเสาเข็มต้นแรกแล้ว ผู้รับจ้างต้องนำเสนอเหตุผลในการเสนอเปลี่ยนแปลงนี้

วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

- **ปลอกเหล็กเพื่อป้องกันดินข้างหลุมพังทลาย**
  - เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (เฉลี่ยจากการวัด 3 ครั้ง ซึ่งทำมุมระหว่างกัน 120 องศา) ของปลอกเหล็ก ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดในแบบ
  - ก่อนดำเนินการก่อสร้างผู้รับจ้างต้องเสนอความยาวของเหล็กปลอกที่ใช้เพื่อขออนุมัติต่อวิศวกรผู้ควบคุมงานและผู้ออกแบบ
  - กรณีการต่อปลอกเหล็ก ต้องเรียบร้อยและแน่นหนา และได้แนวตรงตลอดความยาวของเหล็กปลอก
  - ความหนาของเหล็กปลอกต้องเพียงพอสำหรับการขนส่งและการทำงาน โดยผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติคุณสมบัติของเหล็กปลอกก่อนนำมาใช้งาน
  - ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบต่อการป้องกันการพังทลายของดินบริเวณที่ขุดทั้งก่อนที่จะเทคอนกรีตจนกระทั่งคอนกรีตแข็งตัว
  - กรณีที่ดินข้างในปลอกเหล็กเกิดการพังทลายบางส่วนหรือทั้งหมด ในระหว่างการขุดหรือภายหลังการขุดแล้วเสร็จ ผู้รับจ้างต้องแจ้งให้วิศวกรผู้ควบคุมงานทราบทันที พร้อมเสนอแนวทางแก้ไขและวิธีในการซ่อมแซมแก้ไขต้องปฏิบัติตามข้อแนะนำหรือคำสั่งของวิศวกรผู้ควบคุมงาน ค่าใช้จ่ายใดๆอันเกิดจากผลดังกล่าว ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบเอง ไม่สามารถเรียกร้องจากผู้ว่าจ้างได้ นอกจากนี้ ผู้รับจ้างต้องเสนอรายงาน บันทึกรายละเอียดของการพังทลายและวิธีการแก้ไข ถึงวิศวกรผู้ออกแบบด้วย

- **คอนกรีตที่ใช้ในงานเสาเข็มเจาะ**
  - ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 หรือเป็นไปตามแบบกำหนด
  - กำลังอัดของแท่งคอนกรีตลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. จะต้องไม่น้อยกว่า 30 MPa. (300 กก./ตร.ซม.) เมื่ออายุ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C39
  - ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ต้องไม่น้อยกว่า 375 กิโลกรัม
  - ค่ายุบตัว(Slump) ของคอนกรีตอยู่ระหว่าง 17.5-22.5 ซม.
  - ขนาดหินใหญ่สุดไม่เกิน 25 มม.
  - สารผสมเพิ่ม(Admixture)คอนกรีต เพื่อให้คอนกรีตแข็งตัวช้า จะต้องเสนอ ชนิด ปริมาณ เวลาแข็งตัวและผลการทดลองต่างๆที่จำเป็น เพื่อพิจารณาอนุมัติภายในระยะเวลาไม่น้อยกว่า 7 วันก่อนใช้งาน และหากเป็นวัสดุที่ไม่เคยใช้และไม่มีข้อมูลที่เพียงพอ ต้องทดลองทำแท่งตัวอย่างอย่างน้อยจำนวน 3 ชุดชุดละ 3 ตัวอย่างและทดสอบกำลังรับแรงอัด ไม่น้อยว่า 14 วันก่อนใช้งาน
  - คอนกรีตที่ใช้ในงานเสาเข็มเจาะจะต้องมีเวลาก่อตัวขั้นแรก(Initial Setting Time) ไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมงและต้องเหมาะสมกับระยะเวลาการเทคอนกรีต
  - ผู้รับจ้างต้องเสนอ Mixed Design ของคอนกรีตให้วิศวกรผู้ควบคุมงานพิจารณาอนุมัติอย่างน้อย 7 วันก่อนเริ่มงาน อาจเปลี่ยนแปลง Mixed Design ให้เหมาะสมในระหว่างการก่อสร้าง แต่ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบคุณภาพและคุณสมบัติ
  - การเก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. เสาเข็ม 1 ต้นเก็บตัวอย่างไม่น้อยกว่า 3 ชุดชุดละ 3 ตัวอย่าง และวิศวกรผู้ควบคุมงานอาจต้องการให้เก็บมากกว่า 3 ชุดได้ เมื่อเห็นสมควร โดยผู้รับจ้างรับผิดชอบในการเก็บตัวอย่าง และนำส่งห้องปฏิบัติการที่เชื่อถือได้เพื่อทำการทดสอบ
  - การเทเสาเข็มคอนกรีตแต่ละต้น ต้องเทต่อเนื่องโดยจะหยุดชะงักนานเกิดควรไม่ได้ กรณีที่หยุดนานเกิดควร วิศวกรผู้ควบคุมงานมีความเห็นว่าเสาเข็มต้นนั้นเป็นเสาเข็มชำรุด ผู้รับจ้างต้องนำเสนอวิธีการแก้ไขและรับผิดชอบต่อค่าใช้จ่ายทั้งหมด
- **เหล็กเสริมรับแรง**
  - เหล็กข้ออ้อยทุกขนาดใช้ SD 40 ตามมาตรฐาน มอก.24
  - เหล็กกลมทุกขนาดใช้ SD 24 ตามมาตรฐาน มอก.20
  - รอยเชื่อมเหล็กและวิธีการต่อเหล็ก ต้องเสนอให้วิศวกรผู้ควบคุมงานตรวจพิจารณาและอนุมัติ
  - ข้อกำหนดต่างๆให้ถือตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กฉบับที่ 1007-34 ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
  - ขณะหล่อคอนกรีต ผู้รับจ้างต้องป้องกันและระวังอย่าให้เหล็กเสริมเคลื่อนตัวผิดตำแหน่ง
  - ระยะหุ้มผิวนอกสุดของเหล็ก(Concrete Covering) จะต้องไม่น้อยกว่า 7.5 ซม.
  - ระยะเรียงถึงผิวของเหล็กยืนจะต้องไม่น้อยกว่า 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก หรือ 3 เท่าของขนาดหินใหญ่สุด
  - เหล็กเสริมยืนและเหล็กปลอก ให้เป็นไปตามแบบกำหนด

- การเสริมเหล็กยืน ต้องให้ปลายของเหล็กอยู่ที่ระดับสูงกว่า Pile Cut-off ไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม หรือเป็นไปตามแบบกำหนด
- ระยะต่อทาบเหล็กต้องไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม และต้องผูกยึดเชื่อมแน่นติดกัน

- **สารละลายเบนโทไนท์ (Bentonite Slurry)**
  - ต้องเสนอรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวกับสารละลายเบนโทไนท์ (Bentonite Slurry) เพื่อให้วิศวกรพิจารณาและอนุมัติก่อนนำมาใช้งาน
  - สารละลายเบนโทไนท์ (Bentonite Slurry) ต้องมีคุณสมบัติก่อนการเทคอนกรีต ดังนี้

คุณสมบัติ	ค่าที่ยอมรับได้	วิธีทดสอบ
ความหนาแน่น (Density)	1.02-1.05 ตัน/ลบ.ม.	ASTM D4380
ความหนืด (Viscosity)	26-25 sec./qt.	Marsh Funnel and Cup
ปริมาณทราย (Sand Content)	$\leq$ 4 %	ASTM D 4381 by Volume
PH	7-12	Paper Test Strips or Glass-Electrode PH Meter

  กรณีที่ สารละลายเบนโทไนท์มีความสกปรก แต่มีคุณสมบัติอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ วิศวกรผู้ควบคุมงานมีสิทธิที่จะห้ามใช้ แต่ถ้าไม่อยู่ในช่วงค่าที่ยอมรับได้ ห้ามใช้โดยเด็ดขาด
  - ระดับของสารละลายเบนโทไนท์ ในขณะทำการเจาะ ต้องไม่ลึกกว่า 2.0 เมตร จากระดับปากของปลอกเหล็ก และในขณะทำการเจาะต้องเติมอยู่เสมอ เพื่อรักษาระดับสารละลายในหลุมเจาะให้คงที่

- **ท่อเทคอนกรีต (Tremie Pipe)**
  - ท่อเทที่นำมาใช้ ต้องส่งรายละเอียด เช่น ขนาดท่อ วิธีต่อท่อ วิธีป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในท่อ ความของท่อแต่ละช่วง เสนอต่อวิศวกรผู้ควบคุมงานพิจารณาอนุมัติก่อนนำมาใช้งาน
  - ท่อเททุกท่อน ต้องมีหมายเลขกำกับ เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความยาวและการตัดต่อท่อ และการชักท่อขึ้นจากคอนกรีต
  - ท่อเททุกท่อน ต้องแข็งแรง ป้องกันน้ำได้ และรอยต่อต้องอยู่ในสภาพดี สามารถถอดหรือต่อได้โดยสะดวกขณะทำการเทคอนกรีต
  - วิศวกรผู้ควบคุมงานมีสิทธิเปลี่ยนท่อเทได้ เมื่อมีความเห็นว่าใช้การไม่ได้
  - ผู้รับจ้างต้องจัดให้มีท่อเทสำรองไว้ พร้อมที่จะนำมาใช้ได้ทันทีเมื่อจำเป็น
  - ขณะเทคอนกรีต ปลายท่อเทต้องจมอยู่ในเนื้อคอนกรีตไม่น้อยกว่า 2.0 เมตรเพื่อป้องกันมิให้สารละลายเบนโทไนท์แทรกเข้าไปในเนื้อคอนกรีต และต้องคอยขยับท่อขึ้นลงเพื่อไม่ให้คอนกรีตติดท่อ
  - ขณะที่ถอดท่อเทให้สั้นลง ต้องรักษาระดับปลายท่อให้จมอยู่ในเนื้อคอนกรีตลึก 3-5 เมตร

- การใช้ Plug เพื่อกั้นคอนกรีตเพื่อไล่สารละลายเบนโทไนท์ออกจากท่อเท ต้องเสนอวัสดุและวิธีการให้วิศวกรผู้ควบคุมงานพิจารณาอนุมัติก่อนใช้งาน

ค่าผิดพลาดที่ยอมให้ของเสาเข็มเจาะ

- ค่าผิดพลาดในแนวดิ่งจะต้องไม่เกิน 1: 100 ของความลึกเสาเข็ม
- ระยะมากที่สุดที่ยอมให้เสาเข็มผิดตำแหน่งจากที่กำหนดไว้ในแบบ ต้องไม่เกิด 7.0 ซม. โดยวัดขนานกับแกน Co-ordinate ทั้งสองแกน โดยวัดที่ระดับตัดหัวเสาเข็ม (Pile Cut-off)

เสาเข็มเจาะชำรุด

เสาเข็มเจาะจะถือว่าชำรุดเมื่อ

- กำลังอัดของคอนกรีตแท่งตัวอย่าง ต่ำกว่าที่ระบุไว้ในแบบหรือข้อกำหนด
- ความยาวของเสาเข็มเจาะไม่ได้ตามที่ระบุไว้ในแบบ หรือตามที่วิศวกรผู้ออกแบบ หรือตามที่วิศวกรผู้ควบคุมงานกำหนด
- การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ไม่ได้ตามที่แบบกำหนด
- จากการทดสอบหรือการสังเกตของวิศวกรผู้ควบคุมงาน มีความเห็นว่า เสาเข็มมีสภาพที่ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่แบบกำหนด หรือวิศวกรผู้ออกแบบมีความเห็นว่า เสาเข็มชำรุด เนื่องจาก วิธีการเจาะ การเทคอนกรีต ไม่ถูกต้อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าที่แบบกำหนด หรือมีสิ่งแปลกปลอมแทรกอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต เช่น ดิน สารละลายเบนโทไนท์ หรือลักษณะของคอนกรีตมีกรแยกตัว

การแก้ไข ซ่อมแซม เสาเข็มเจาะชำรุด

วิธีการแก้ไขหรือซ่อมแซมเสาเข็มเจาะชำรุด วิศวกรผู้ออกแบบจะเป็นผู้กำหนดหลักเกณฑ์ โดยผู้รับจ้างเป็นผู้รับผิดชอบ ทำรายงาน แบบแก้ไขในสนาม (Shop Drawings) รายการคำนวณ พร้อมลงนามโดยวิศวกรหรือผู้รับจ้างนำเสนอวิธีการแก้ไข ซ่อมแซม ให้ทางวิศวกรผู้ออกแบบพิจารณาอนุมัติ โดยผู้รับจ้างเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมทั้งหมด

รายงานการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ

ผู้รับจ้างต้องทำรายงานการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ นำส่งให้วิศวกรผู้ควบคุมงาน ภายใน 24 ชั่วโมง นับหลังจากเทคอนกรีตแล้วเสร็จ ข้อมูลในรายงานประกอบด้วย

- วันที่และเวลา ที่เริ่มติดตั้งปลอกเหล็ก เริ่มเจาะดิน และเทคอนกรีต
- หมาเลขกำกับตำแหน่งของเสาเข็ม
- ระดับดินเดิม และปากปลอกเหล็ก
- ระดับหัวเสาเข็ม และตัดเสาเข็ม (Pile Cut-off)
- ระดับปลายเสาเข็ม

- ระดับชั้นดินแน่น ทราย หรือหิน
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะ
- ตำแหน่ง และค่าความคลาดเคลื่อนจากที่กำหนดในแบบ
- ความยาวของปลอกเหล็ก
- รายละเอียดของชั้นดินที่เจาะลงไป
- ผลการตรวจสอบคุณสมบัติสารละลายเบนโทไนท์
- ปริมาณคอนกรีตที่ใช้เท พร้อมกราฟเปรียบเทียบกับความลึก
- เวลาเริ่ม และเวลาแล้วเสร็จของการเจาะ การใส่โครงเหล็กและการเทคอนกรีต
- รายละเอียดของอุปสรรคและสาเหตุความล่าช้าที่เกิดขึ้น
- รายละเอียดความผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงาน
- ข้อมูลอื่นๆที่วิศวกรผู้ควบคุมงานต้องการ

รายงานนี้ต้องมีวิศวกรตัวแทนผู้รับจ้างและผู้ควบคุมงานลงนามรับรองทั้งสองฝ่าย

ระยะช่วงเวลาห่างในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะต้นถัดไป หรือใกล้เคียง

ระยะช่วงเวลาห่างในการก่อสร้างเสาเข็มต้นถัดไปหรือใกล้เคียง ต้องไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง โดยอาศัยผลจากการทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ประกอบการพิจารณา หรือระยะห่างระหว่างเสาเข็มที่จะก่อสร้างกับเสาเข็มข้างเคียงทุกต้น ต้องไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม

หลุมเจาะของงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะ

- ก้นหลุมเจาะต้องสะอาด แน่นและปราศจากวัสดุที่ไม่เหมาะสม หรือตะกอนในปริมาณมากเกินสมควร หรือวัสดุที่ทำให้อ่อนตัวจนมีกำลังต่ำกว่าค่าของตัวอย่าง ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณหาความลึกของก้นหลุมเจาะ และก้นหลุมเจาะต้องได้ระดับ
- ต้องทำความสะอาดก้นหลุมเจาะด้วยวิธีที่แบบกำหนด หรือวิศวกรผู้ควบคุมงานแนะนำ หรือที่ผู้รับจ้างเสนอขออนุมัติต่อวิศวกรผู้ออกแบบ ซึ่งวิศวกรผู้ควบคุมงานได้อนุมัติแล้ว และก่อนทำการเทคอนกรีตต้องได้รับการตรวจและเห็นชอบจากวิศวกรผู้ควบคุมงานก่อน
- ผู้รับจ้างต้องจัดหาอุปกรณ์เกี่ยวกับความปลอดภัย ตลอดจนอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ เพื่อให้ตัวแทนผู้ว่าจ้าง วิศวกรผู้ออกแบบ และวิศวกรผู้ควบคุมงาน สามารถเข้าไปตรวจงานได้อย่างปลอดภัย
- หลังจากเจาะจนถึงระดับที่ต้องการแล้ว วิศวกรผู้ควบคุมงานและผู้รับจ้าง ต้องร่วมกันวัดความลึกตามแนวดิ่งของหลุมเจาะ และตรวจสภาพของหลุมเจาะโดยใช้ ท่อเท (Tremie Pipe)ลูกดิ่ง หรือวิธีการอื่นใดที่วิศวกรผู้ควบคุมงานเห็นชอบ และค่าใช้จ่ายเป็นความรับผิดชอบของผู้รับจ้างทั้งสิ้น
- ขณะเทคอนกรีต วิศวกรผู้ควบคุมงานและผู้รับจ้าง ต้องร่วมกันตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะ โดยใช้วิธีคำนวณปริมาตรของคอนกรีตที่เทลงไปกับความลึกของคอนกรีตที่ได้ หรือโดยวิธีอื่นใดที่วิศวกรผู้ควบคุมงานเห็นชอบ

วิธีการก่อสร้าง

กรณีที่ผู้รับจ้างเป็นผู้เสนอวิธีการทำเสาเข็มเจาะ วิธีที่ผู้รับจ้างเสนอมาบางขั้นตอน วิศวกรผู้ออกแบบหรือวิศวกรผู้ควบคุมงาน มีสิทธิ์สั่งให้แก้ไขหรือเพิ่มเติมเพื่อให้ได้งานที่สมบูรณ์เรียบร้อยและถูกต้อง โดยผู้รับจ้างไม่มีสิทธิ์เรียกร้องค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากการแก้ไขนี้ หลักเกณฑ์ในการพิจารณาและอนุมัติวิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ คือวิธีการก่อสร้างต้องไม่ทำให้เสาเข็มเสียกำลังเนื่องจากคอนกรีตสกปรก หรือจากการลดหน้าตัดของเสาเข็ม หรือปูนซีเมนต์ถูกล้างออกไป หรือจากการชำรุดเสียหายขณะถอนปลอกเหล็กออก หรือเหตุการณ์อื่นๆ รวมทั้งผลกระทบจากการก่อสร้างเสาเข็มข้างเคียงด้วย ถึงแม้ว่าผู้รับจ้างจะทำงานตามขั้นตอนที่เสนอมา หรือตามขั้นตอนที่ได้รับการแก้ไขจากวิศวกรผู้ออกแบบหรือผู้ควบคุมงาน และผู้รับจ้างเห็นชอบด้วยแล้วก็ตาม ความรับผิดชอบและค่าเสียหายต่างๆ ในงานเสาเข็มยังคงเป็นของผู้รับจ้างเพียงผู้เดียว และค่าเสียหายต่างๆ ที่เกิดขึ้น ผู้รับจ้างเป็นผู้จ่ายเพียงผู้เดียว

วิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะทั่วไป

กรณีที่มีได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้ถือปฏิบัติดังนี้

- การลงปลอกเหล็กผู้รับจ้างจะต้องลงปลอกเหล็กตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ในแบบ และ ระหว่างลงปลอกเหล็กจะต้องตรวจสอบความดิ่งโดยใช้กล้อง Theodolite, ลูกดิ่ง หรือระดับน้ำ โดยให้ถือค่าผิดพลาดที่ยอมให้ในข้อ 3 เป็นเกณฑ์
- หลังจากกดปลอกเหล็กอยู่ในตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการเจาะดินภายในปลอก เหล็กออกโดยใช้เครื่องเจาะซึ่งติดตั้งบนรถเครน หัวเจาะอาจใช้ Flight Auger หรือ Bucket Type ตามสภาพความเหมาะสม ช่วงบนของเสาเข็มผู้รับจ้างอาจทำการเจาะแบบ Dry Process ได้แต่การเจาะโดยวิธี Dry Process นี้ภาคกลางไม่ควรเจาะเกินระดับ 21.00-22.00 หรือพ้นชั้น Stiff Clay เพราะจะมีน้ำทะลักเข้ามาเมื่อเจาะถึงขั้นนี้แล้วจะต้องทำการเติม Bentonite Slurry แล้วเมื่อเจาะได้ความลึกเพิ่มขึ้นให้เติม Slurry เพิ่มขึ้นตามความลึกจนได้ระดับที่กำหนดตามแบบก่อนที่จะชักก้านเจาะ (Kelly Bar) ขึ้นจากนั้นให้ทำความสะอาดก้นหลุม (Cleaning) ด้วย Cleanout Bucket อีกครั้งหนึ่งทั้งนี้ Bucket จะต้องเป็นแบบ One-way Flap Gate เพื่อมิให้ Bucket ร่วงลงไปในรูเจาะเสาเข็มได้
- หลังจากจะชักก้านเจาะ (Kelly Bar) ขึ้นแล้ว ให้ผู้รับจ้างทำการตรวจสอบรูเจาะซึ่งมี Bentonite Slurry อยู่เต็มอีกครั้งหนึ่งด้วยลูกดิ่ง เพื่อหาความลึกที่แน่นอน และตรวจสอบการพังทลายของรูเจาะโดยใช้เครื่องมือ หรือวิธีการใดๆที่เหมาะสม การตรวจสอบให้ตรวจสอบไม่น้อยกว่า 4 จุด หากผลการตรวจสอบพบว่ามีการพังทลายของหลุมเจาะ ผู้รับจ้างต้องทำความสะอาดอีกครั้งหนึ่งด้วย Bucket จนแน่ใจว่าก้นหลุมสะอาดและได้ระดับ กรณีที่มีตะกอนเกินกว่าที่ยอมรับได้ ผู้รับจ้างต้องขจัดตะกอนด้วยวิธีที่เหมาะสม ความหนาของตะกอนที่ยอมให้ได้ วิศวกรผู้ออกแบบหรือวิศวกรผู้ควบคุมงานจะกำหนดให้เป็นกรณีไปตามแต่ชนิดของตะกอน
- หลังจากตรวจสอบหลุมเจาะเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการหย่อนโครงเหล็กเสริมตัวเสาเข็มตามแบบ และลง Tremie pipe สำหรับเทคอนกรีต ระหว่างลง Tremie pipe ให้วัดความยาวเพื่อตรวจสอบความลึกของหลุมเจาะ เมื่อลงท่อแล้วเสร็จให้ตรวจสอบด้านข้างของหลุมเจาะด้วยลูกดิ่งอย่างน้อย 4 จุด หรืออาจใช้วิธีเลื่อนท่อไปรอบๆหลุมเจาะ ส่วนจะใช้วิธีการใดๆขึ้นอยู่กับสภาพความเหมาะสมในระหว่าง

การทำงาน และการลงโครงเหล็ก หากเกิดการพังทลายต้องดึงโครงเหล็กขึ้นและทำความสะอาด และลงโครงเหล็กใหม่และทำการตรวจสอบอีกครั้งหนึ่ง

- เมื่อทำการตรวจสอบก้นหลุมเจาะแล้ว จึงทำการเทคอนกรีตผ่าน Tremie pipe ซึ่งมี Plug อยู่ในท่อลอยอยู่เหนือ Bentonite Slurry (Plug อาจใช้ลูกบอลยาง โฟม หรือสารชนิดอื่นใด ที่วิศวกรผู้ควบคุมงานเห็นชอบก่อนนำมาใช้งาน) คอนกรีตเทือเทเข้าไปในท่อ จะล้น Plug และ Bentonite Slurry ออกทางปลายท่อซึ่งจะดันตะกอนก้นหลุมเจาะให้ลอยขึ้นและคอนกรีตจะตกลงสู่ก้นหลุมแทนที่ และต้องรักษาให้ปลายท่อฝังอยู่ภายในคอนกรีตตลอดเวลา เมื่อเทคอนกรีตเพิ่มขึ้นจะทำการตัดท่อให้สั้นลงสัมพันธ์กับปริมาตรคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น โดยปลายท่อต้องฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีตอย่างน้อย 2 เมตรตลอดเวลาการเทคอนกรีต จนกระทั่งแล้วเสร็จ แต่ในขณะทำการตัดท่อ ปลายท่อต้องฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีตอย่างน้อย 3-5 เมตร และในการเทคอนกรีตเสาแต่ละต้นต้องเทอย่างต่อเนื่องจนแล้วเสร็จ
- ก่อนลงมือเทคอนกรีตเสาเข็มแต่ละต้น ผู้รับจ้างต้องทำการคำนวณปริมาณคอนกรีตสำหรับเสาเข็มแต่ละขนาดและเขียนออกมาเป็นกราฟ หรือตารางเปรียบเทียบความสูงของคอนกรีตที่เทลงไปในรูเจาะกับปริมาณที่คำนวณได้ เสนอวิศวกรผู้ควบคุมงานก่อน และในระหว่างการเทคอนกรีตจะต้องตรวจสอบปริมาตรคอนกรีตที่เทลงไปจริง และวัดความสูงของคอนกรีตในรูเจาะเป็นระยะๆ เพื่อนำมาเขียนกราฟ หรือตารางเปรียบเทียบที่คำนวณไว้และจากการตรวจสอบนี้จะทำให้สามารถคำนวณเส้นผ่าศูนย์กลางจริงของเสาเข็มได้เป็นระยะๆ การวัดตรวจสอบดังกล่าวนี้จะวัดตรวจสอบกี่ครั้งในเสาเข็มแต่ละต้น แต่ละขนาดให้เป็นผู้รับจ้างหารือกัน วิศวกรผู้ควบคุมงานในระหว่างทำงานตามสภาพความเหมาะสม
- ระหว่างที่เทคอนกรีตลงในรูเจาะ Bentonite Slurry ในรูจะล้นออกมาผู้รับจ้างจะต้องทำการสูบนำไปทำความสะอาดตามกรรมวิธีที่เหมาะสมถูกต้องตามหลักวิชาการ ซึ่งวิศวกรผู้ควบคุมงานเห็นชอบแล้วจึงนำไปเก็บไว้ในที่เก็บทำการตรวจสอบคุณสมบัติที่จะนำไปใช้กับเสาเข็มต้นอื่นๆ
- เมื่อเทคอนกรีตจนได้ระดับที่ต้องการแล้ว จึงทำการถอนปลอกเหล็กขึ้น เสาเข็มที่เจาะใหม่จะต้องห่างจากต้นที่เพิ่งทำเสร็จแล้วอย่างน้อย 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มต้นที่ใหญ่กว่า หากเว้นระยะน้อยกว่านั้น จะต้องทิ้งระยะเวลาให้ห่างกันไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง
- ระหว่างทำงานหากผู้รับจ้างเห็นว่าควรจะมีการเปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มเติมวิธีการใดๆ เพื่อให้งานมีคุณภาพดีขึ้น ผู้รับจ้างต้องเสนอต่อวิศวกรผู้ออกแบบ หรือผู้ควบคุมงานเพื่อเห็นชอบก่อนทุกครั้ง
- กรณีที่ผู้รับจ้างเจาะเสาเข็มจนถึงระดับที่ต้องการแล้ว ผู้รับจ้างจะต้องเทคอนกรีตต้นนั้นๆให้เสร็จสิ้นภายในวันนั้นๆ จะทิ้งไว้ข้ามวันไม่ได้เป็นอันขาด ผู้รับจ้างจะสามารถทิ้งเสาเข็มที่เจาะไว้ข้ามวันไว้ได้ในกรณีเดียว คือยังเจาะไม่ถึงระดับและสามารถพิสูจน์ได้ว่ารูเจาะที่เจาะค้างไว้ไม่เกิดการพังทลาย
- ถ้าพบสิ่งกีดขวางในขณะทำเสาเข็มเจาะ เช่น ฐานรากเดิมหรือเสาเข็มเดิม ผู้รับจ้างต้องแจ้งให้วิศวกรผู้ควบคุมงานทราบทันที และร่วมปรึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ
- การทดสอบการบรรทุกน้ำหนักของเสาเข็ม ผู้รับจ้างทำเสาเข็มต้องดำเนินการทดสอบขนาดเสาเข็มและความลึกตามกำหนดในแบบก่อสร้างอย่างน้อยจำนวน 1 ต้น ณ สถานที่ก่อสร้าง ตามตำแหน่งที่ได้รับอนุมัติจากวิศวกรผู้ออกแบบพร้อมทั้งส่งรายงานผลการทดลองเสาเข็มนั้นจำนวน 5 ชุด ต่อผู้ว่าจ้าง

วิธีการทดสอบการบรรทุกน้ำหนักของเสาเข็ม

ผู้รับจ้างจะต้องเสนอรายละเอียดการทดสอบเสาเข็มเจาะเพื่อให้วิศวกรผู้ออกแบบอนุมัติ 14 วัน ก่อนทำการเจาะเสาเข็มและเสาเข็มสมอ (Anchor Piles) รายละเอียดต้องประกอบด้วย Shop Drawings ของเสาเข็มทดสอบและเสาเข็มสมอ รายละเอียด Test Beams และ Cross Beams, วิธีการ Jack, วิธีการวัดค่าการทรุดตัว และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เสาเข็มทดสอบจะต้องใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดของแท่งคอนกรีตลูกบาศก์มาตรฐานไม่น้อยกว่า 300 กก./ตร.ซม. เสาเข็มสมอต้องมีจำนวนและเหล็กเสริมเพียงพอที่จะรับแรงดึงสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบโดยผู้รับจ้างจะต้องทำรายการคำนวณเสนอต่อวิศวกรผู้ออกแบบและได้รับการอนุมัติก่อนทำการทดสอบ

กรณีที่ไม่มีข้อกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น การทดสอบให้กระทำเป็น 2 ชุด ได้แก่

ชุดแรก ให้บรรทุกน้ำหนักถึง 1.25 เท่าของค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่คำนวณไว้แล้วลดลงเหลือศูนย์

ชุดที่สอง ให้บรรทุกน้ำหนักใหม่จากศูนย์ถึง 2.5 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยแล้วลดลงเหลือศูนย์

ขั้นตอนการทดสอบ

การจดบันทึกลักษณะรายละเอียดของเสาเข็มที่ทดสอบให้ปฏิบัติดังนี้

- **ชุดแรก**
  - เพิ่มน้ำหนักทดสอบเท่ากับค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่คำนวณออกแบบไว้โดยให้เพิ่มน้ำหนักเป็นขั้นๆ ดังนี้ 25%, 50%, 75%, 100%, 125%
  - การเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้น ให้ใช้อัตราการเพิ่มการทรุดตัวประมาณ 1 มม. ต่อนาทีเป็นเกณฑ์ อ่านค่าการทรุดตัวของเสาเข็มที่ 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240 นาทีและทุกๆ 2 ชั่วโมงให้ละเอียดถึง 0.01 มม. เป็นอย่างน้อย
  - การเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้นกระทำได้ต่อเมื่ออัตราการทรุดตัวลดลงถึง 0.25 มม. ต่อชั่วโมง แต่ต้องมีเวลาของการบรรทุกน้ำหนักในขั้นนั้นๆ ไม่น้อยกว่า 60 นาที
  - น้ำหนัก 125% ต้องรักษาน้ำหนักทดสอบไว้ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง
  - ลดน้ำหนักทดสอบทุกๆ ชั่วโมงและเป็นขั้นๆ ดังนี้ 100%, 50%, 25%, 0%
  - บันทึกค่าคืนตัว (Rebound ของเสาเข็มในข้อ 11.1.1.5) ที่ 1, 2, 4, 8, 15, 30, 45 และ 60 นาที ที่น้ำหนัก 0% ให้บันทึกต่อไปทุกๆ ชั่วโมงจนกระทั่งค่าของการคืนตัวคงที่
- **ชุดที่สอง**
  - เพิ่มน้ำหนักทดสอบให้เป็นจำนวน 2.5 เท่าของค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ออกแบบไว้โดยให้เพิ่มน้ำหนักเป็นขั้นๆ ดังนี้ 25%, 50%, 75%, 100%, 125%, 150%, 175%, 200%, 250%

- การเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้นให้ใช้อัตราการเพิ่มการทรุดตัวประมาณ 1 มม. ต่อนาทีเป็นเกณฑ์ อ่านค่าทรุดตัวของเสาเข็มที่ 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240 นาที และทุกๆ 2 ชั่วโมง
- การเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้นกระทำได้ต่อเมื่ออัตราการทรุดตัวลดลงถึง 0.25 มม. แต่ต้องมีเวลาของการบรรทุกน้ำหนักในขั้นนั้นๆ ไม่น้อยกว่า 60 นาที
- ที่น้ำหนัก 250% ต้องรักษาน้ำหนักทดสอบไว้เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง
- ให้ลดน้ำหนักทดสอบทุกๆ ชั่วโมงและเป็นขั้นๆ ดังนี้ 200%, 175%, 150%, 125%, 100%, 75%, 50%, 25% และ 0%
- บันทึกค่าคืนตัวของเสาเข็มในข้อ (11.1.2.5) ที่ 1, 2, 4, 8, 15, 30, 45 และ 60 นาที ที่น้ำหนัก 0% ให้อ่านต่อไปทุกๆ ชั่วโมงจนกระทั่งค่าของการคืนตัวคงที่

หลักเกณฑ์การพิจารณาผลการทดสอบ

- กรณีที่เกิดการเสียหายของเสาเข็ม โดยสังเกตจากค่าการทรุดตัว อัตราการทรุดตัวหรืออื่นๆ โดยที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุในข้อ 14 ผู้ทดสอบจะต้องทำการกดเสาเข็มต่อไปจนกระทั่งค่าการทรุดตัวเท่ากับ 15% ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม (ยกเว้นกรณีที่มีเหตุผลสนับสนุนว่าจะทำให้เกิดอันตรายได้) โดยที่ผู้รับจ้างจะต้องเตรียมการไว้ล่วงหน้าในกรณีนี้
- กรณีที่เกิดความผิดพลาด ผู้รับจ้างจะต้องแจ้งให้วิศวกรผู้ควบคุมงานและวิศวกรผู้ออกแบบทราบโดยทันที
- หลังจากสิ้นสุดการทดสอบ ผู้รับจ้างจะต้องเสนอกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวต่อวิศวกรผู้ออกแบบโดยทันที เพื่อขออนุมัติก่อนการรื้อถอนอุปกรณ์การทดสอบ

การรายงาน

หลังจากที่การทดสอบการบรรทุกน้ำหนักได้เสร็จสิ้นลง ผู้รับจ้างจะต้องส่งรายงานผลการทดสอบเสาเข็มนั้นต่อผู้ว่าจ้าง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- รายละเอียดของเสาเข็ม
- ตารางแสดงค่าน้ำหนักบรรทุก และการทรุดตัวที่อ่านได้ในระหว่างการบรรทุก และการลดน้ำหนักที่กระทำบนเสาเข็ม
- กราฟแสดงผลการทดลองในรูปของเวลา-น้ำหนักบรรทุก-การทรุดตัว
- หมายเหตุเกี่ยวกับสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบการบรรทุกน้ำหนักของเสาเข็ม
- รายงานผลการทดสอบเสาเข็มจะต้องได้รับการลงนามรับรองโดยวิศวกรของผู้รับจ้าง
- การคำนวณค่า Ultimate Load Capacity โดยวิธี Chin's Method
- การคำนวณค่า Friction และ Bearing Load จากผลการทดสอบโดยวิธีที่เป็นที่ยอมรับได้

การยกเลิกการทดสอบเสาเข็ม

ในกรณีที่การทดสอบเสาเข็มจำเป็นต้องหยุดชะงักด้วยเหตุผลดังนี้

- แม่แรงหรือมาตรวัดชำรุด
- การยึดกับเสาเข็มสมอไม่เพียงพอ หรือไม่มั่นคงพอ หรือเหล็กเสริมในเสาเข็มสมอถึงจุดคลากก่อนที่ควร
- หัวเสาเข็มร้าว หรือชำรุด
- การตั้งระดับพื้นฐานไม่ถูกต้อง หรือมีการกระทบกระเทือนต่อระดับและมาตรวัด
- คานโก่งตัวมากเกินไป หรือเสาเข็มสมอลอยตัว

ให้ยกเลิกการทดสอบและผลการทดสอบนั้นๆ เสีย และดำเนินการทดสอบการบรรทุกน้ำหนักอีกชุดหนึ่งตามคำแนะนำของวิศวกรผู้ควบคุมงานโดยผู้รับจ้างจะต้องออกค่าใช้จ่ายในการนี้เองทั้งสิ้น

ความประลัยของเสาเข็ม

เสาเข็มจะถือว่าประลัยเมื่อเกิดกรณีใดกรณีหนึ่งดังต่อไปนี้

- ส่วนหนึ่งส่วนใดของเสาเข็มโก่ง แตก หรือบิดเบี้ยวจากรูปเดิม หรือแนว หรือตำแหน่งเดิม
- ระยะทรุดตัวสูงสุดที่เสาเข็มเกิน 25 มม. เมื่อรับน้ำหนัก 2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกใช้งานเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือระยะทรุดตัวหลังจากการคืนตัว (Permanent Settlement) เมื่อลดน้ำหนักบรรทุกออกหมดแล้วมีค่าเกิน 6 มม.

ความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็ม

หากไม่ระบุเป็นอย่างอื่น ให้คิดค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ยอมให้เสาเข็มทดสอบตามเกณฑ์ ต่อไปนี้

- ร้อยละ 40 ของน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดการทรุดตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยที่น้ำหนักบรรทุกไม่เปลี่ยนแปลงหรือ ณ จุดที่น้ำหนักทดสอบค่อยๆ ลดลงหรืออยู่คงที่ในขณะที่เสาเข็มทรุดตัวในอัตราสม่ำเสมอ
- ร้อยละ 40 ของน้ำหนักบรรทุก ณ จุดที่การทรุดตัวทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0.25 มม. ต่อตัน
- ร้อยละ 40 ของน้ำหนักบรรทุกที่จุดตัดกันระหว่างเส้นสัมผัสสองเส้น ซึ่งลากจากส่วนที่เป็นเส้นตรงของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะทรุดตัว

ทั้งนี้แล้วแต่ว่าค่าไหนจะน้อยกว่ากัน

การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มเจาะ (Cross Hole Sonic Logging Test)

การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มเจาะด้วยวิธี Cross Hole Sonic Logging เป็นการทดสอบความสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีตโดยการส่งผ่านคลื่นเสียง (Ultra Sonic Pulse) จากหัวส่งสัญญาณไปยังหัวรับสัญญาณ โดยที่ระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางผ่านเนื้อคอนกรีตที่มีคุณสมบัติคงที่ จะมีค่าเท่ากันตลอดช่วงความยาวเสาเข็ม แต่ในกรณีที่ช่วงใดช่วงหนึ่งมีสภาพเนื้อคอนกรีตเปลี่ยนแปลงไประยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทาง จากหัวส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณ จะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เนื่องจากความเร็วคลื่นที่ใช้ในการเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นกรณีเสาเข็มเจาะมีเนื้อคอนกรีตดีสม่ำเสมอ เครื่องจะพิมพ์ผลเป็นแถบสีที่มีความสม่ำเสมอตลอดทั้งต้น

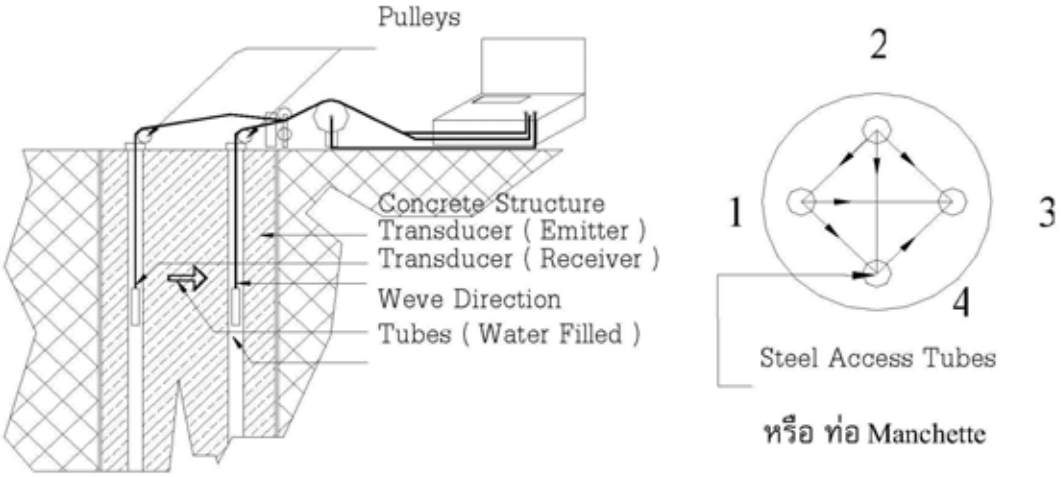
การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน เพราะสะดวกรวดเร็วและสามารถทำการทดสอบได้โดยตลอดเสาเข็มทั้งต้น สามารถทดสอบได้ทั้งในโครงสร้างเสาเข็มเจาะ Caisson เสาเข็ม Barrette และโครงสร้างกำแพงกันดิน (Diaphragm Wall) ซึ่งโครงสร้างในลักษณะนี้มีสาเหตุของสภาพความไม่สมบูรณ์ที่อาจเกิดขึ้น พอสรุปได้ดังนี้

- ความเป็นโพรงของเนื้อคอนกรีต เนื่องจากการจี้ (Vibration) ไม่เพียงพอในขณะเทคอนกรีต
- การแยกตัวที่เกิดขึ้นจากการจี้ (Vibration)ที่มากเกินไประหว่างส่วนผสมในคอนกรีต
- การชะล้างของปูนซีเมนต์ที่เกิดจากการที่น้ำใต้ดินไหลผ่าน
- รอยแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวของเนื้อคอนกรีต
- สิ่งแปลกปลอมที่ผสมอยู่ในเนื้อคอนกรีต
- รอยคอดหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเสาเข็มที่เกิดจากการพังทลายของดินรอบข้างในระหว่างที่ทำการถอนปลอกเหล็กกันดินพังทลาย (Casing)

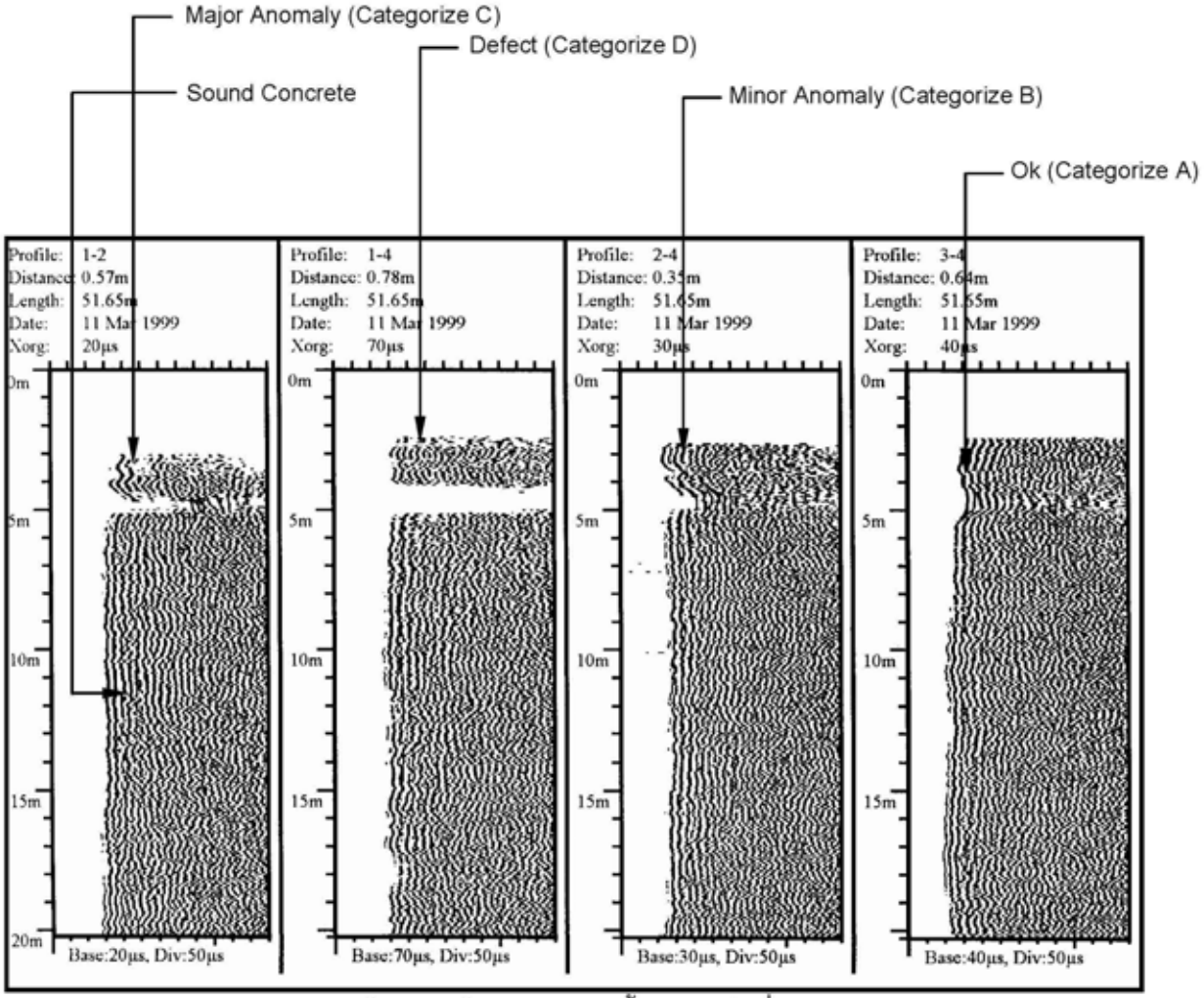
การทดสอบจะกระทำหลังจากที่เทคอนกรีตแล้วเสร็จประมาณ 14 วัน โดยทดสอบผ่านท่อ Manchette ที่เตรียมไว้ จำนวนท่อขึ้นกับขนาดเสาเข็มเจาะ

การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มเจาะโดยวิธี Sonic logging test

เครื่องมือทดสอบ Sonic logging test



รูปการติดตั้งเครื่องมือทดสอบ



รูปตัวอย่างแถบสีแสดงสภาพเนื้อคอนกรีตที่ทำการทดสอบ

การตรวจสอบความสมบูรณ์ของหลุมเจาะ (Sonic Caliper Measurement)

การตรวจสอบความสมบูรณ์ของหลุมเจาะเสาเข็ม สามารถทำได้ด้วยวิธี Sonic Caliper Measurement หรือ Koden Test โดยทำการทดสอบในระหว่างการขุดเจาะ หรือก่อนที่จะทำการติดตั้งเหล็กเสริมลงไปในหลุมเจาะ ผลที่ได้จากการตรวจสอบ ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะ ความลึก และค่าความลาดเอียงของหลุมเจาะ โดยเครื่องทดสอบจะพิมพ์ภาพลักษณะของหลุมเจาะในสองแนวแกนออกมาบนสเกลซึ่งสามารถพิจารณาตรวจวัดได้ชัดเจน ดังแสดงในรูป ค่าความลาดเอียงของหลุมเจาะที่ยอมให้ต้องไม่เกิน 1:100 หากผลการตรวจสอบลักษณะหลุมเจาะไม่เป็นตามข้อกำหนดให้พิจารณาขุดเจาะปรับแก้ลักษณะหลุมเจาะและตรวจสอบซ้ำจนกระทั่งหลุมเจาะเสาเข็มมีสภาพที่เหมาะสม

การตรวจสอบสภาพผนังหลุมเจาะ (Drilling monitor) โดยใช้เครื่องมือ KODEN

ผลการตรวจสอบสภาพผนังหลุมเจาะที่พิมพ์จากเครื่อง KODEN

AS BUILT DRAWING

เมื่องานเสาเข็มเสร็จแล้ว ผู้รับจ้างต้องจัดทำ As built drawing แสดงตำแหน่งจริงของเสาเข็มพร้อมทั้งรายละเอียดอื่นที่จำเป็นให้แก่ผู้ว่าจ้างก่อนส่งงานงวดสุดท้าย

ความปลอดภัย

หลังจากเทคอนกรีตเสาเข็มเสร็จแต่ละต้นในกรณีที่เจาะดินทิ้งไว้โดยไม่มีผู้ดูแล ผู้รับจ้างจะต้องใช้แผ่นเหล็กบิดรูเจาะทุกรู หรือใช้กรงเหล็กครอบไว้หรือวิธีอื่นใดที่เหมาะสมเพื่อป้องกันมิให้คนตกลงไปได้ นอกจากนั้นต้องมีอุปกรณ์ให้ความปลอดภัย เช่น กระเช้า, กว้าน และอื่นๆ เพื่อป้องกันอันตรายและช่วยเหลือคนงานในกรณีฉุกเฉินหรือเกิดอุบัติเหตุ

ภาคผนวก – ข

คานคอนกรีตอัดแรง

การหล่อคานอัดแรงแบบ STRAIGHT TENDON

1. ตรวจสอบก่อนเริ่มงาน

1.1 คุณภาพวัสดุ คุณภาพส่วนผสมคอนกรีต สภาพแท่นหล่อ และแบบหล่อ

1.2 ประสิทธิภาพของอุปกรณ์และเครื่องมือ เช่น เครื่องผสมคอนกรีต เครื่องมือทดลองแท่งคอนกรีต เครื่องมือดึงลวดอัดแรง

1.3 รายการคำนวณเกี่ยวกับการดึงลวดอัดแรง "ดังรายละเอียดแนบ"

2. ตรวจสอบขณะดำเนินการ

2.1 ตรวจสอบตำแหน่งของลวดอัดแรงก่อนและหลังการดึง

2.2 ตรวจสอบการดึงลวดอัดแรงเป็นไปตามรายการคำนวณหรือไม่ หากผิดพลาดมากกว่า ±5 % ต้องหาสาเหตุและแก้ไขให้ถูกต้อง

2.3 เก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อตรวจสอบคุณภาพตามข้อแนะนำในคู่มือฯ

2.4 จัดลำดับการตัดลวดอัดแรง "ดังรายละเอียดแนบ"

CALCULATION OF STRAND ELONGATION

SUBJECT : ELONGATION OF STRAIGHT STRAND Ø 3/8" FOR 19.96 M. I-GIRDER

Strand - Ø 3/8" Strand comformed to TIS 420 Grade 1860 (270 k)

- Initial prestressing force = 7900 kg. (77.5 Kn)

Δ = PL / AE

P = $P_F + P_1$

P_F = $P - P_1$

When P = Jacking force of strand = 7900 kg. (77.5 Kn)

P_1 = Preload, kg.

P_F = Final Tension, kg.

A = Sectional Area of strand = 71.25 $mm.^2$

E = Modulus of Elassticty = 2×10^6 $kg./cm.^2$

L = Bed length = 124.40 m.

$$\Delta \text{ of } P_F = \frac{(P - P_1)\, L}{AE}$$

using stressing machine No. 03/94*

Preload of 40 Bars = Actual Load 1,503 kg.

By substituting : = 1,493 kg. (New Calibration)

$$\Delta \text{ of } P_F = \frac{(7{,}900-1{,}493) \times (12{,}440)}{0.9871 \times 2 \times 10^6} = 40.37 \text{ cm.}$$

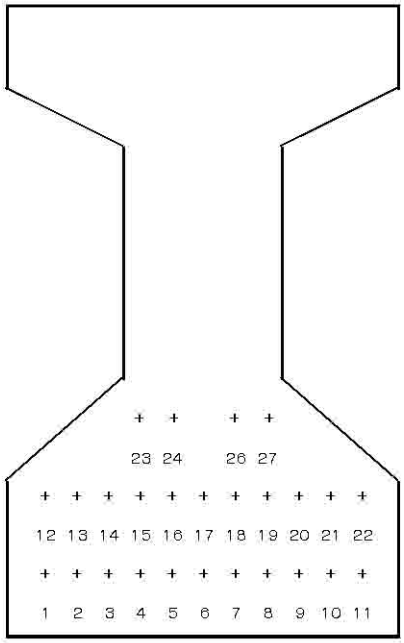
Plus slipage of 0.5 cm.

Total Elongation = 40.37 + 0.5 = 40.87 cm.

$$\text{Guage Reading} = \frac{7{,}900 + 183}{41.902} = 193 \text{ Bars.}$$

Note*Calibration attached.

STRANDS CUTTING SEQUENCE



RELEASE STRAND BY CUTTING +

1. ST NO. 23 , 27
2. nd NO. 24 , 26
3. rd NO. 17 , 6
4. th NO. 12 , 22
5. th NO. 13 , 21
6. th NO. 14 , 20
7. th NO. 15 , 19
8. th NO. 16 , 18
9. th NO. 1 , 11
10. th NO. 2 , 10
11. th NO. 3 , 9
12. th NO. 4 , 8
13. th NO. 5 , 7

การหล่อคานอัดแรงแบบ DRAPED TENDON

1. ตรวจสอบก่อนเริ่มงาน

1.1 คุณภาพวัสดุ คุณภาพส่วนผสมคอนกรีต สภาพแท่นหล่อ และแบบหล่อ

1.2 ประสิทธิภาพของอุปกรณ์และเครื่องมือ เช่น เครื่องผสมคอนกรีต เครื่องมือทดลองแท่งคอนกรีต เครื่องมือดึงลวดอัดแรง

1.3 รายการคำนวณเกี่ยวกับการดึงลวดอัดแรง "ดังรายละเอียดแนบ"

2. ตรวจสอบขณะดำเนินการ

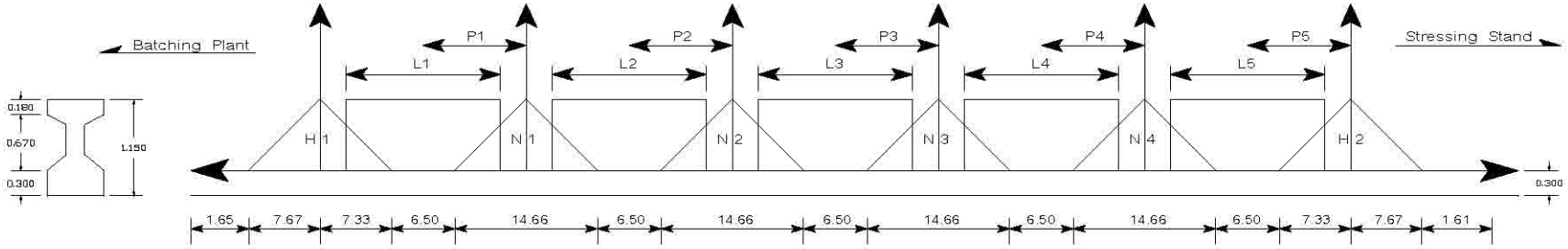
2.1 ตรวจสอบตำแหน่งของลวดอัดแรงก่อนและหลังการดึง

2.2 ตรวจสอบผลการดึงลวดอัดแรงเป็นไปตามรายการคำนวณหรือไม่ หากผิดพลาดมากกว่า ± 5 % ต้องหาสาเหตุและแก้ไขให้ถูกต้อง

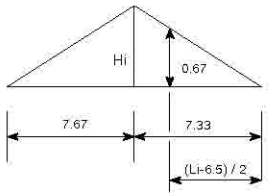
2.3 เก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อตรวจสอบคุณภาพตามข้อแนะนำในคู่มือฯ

2.4 จัดลำดับการตัดลวดอัดแรง "ดังรายละเอียดแนบ"

Calculation Of Hold Up (H.U.) Distance And Prestressing Force For I & C Girder 19.96 M.

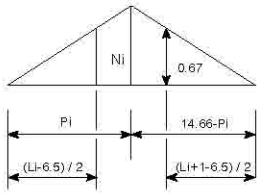


I & C GIRDER 19.96 M.



$$\frac{Hi}{0.67} = \frac{7.33}{(Li-6.5)/2}$$

$$Hi = \frac{9.822}{19.96-6.5} = 0.73 \text{ -------- Ⓐ}$$



$$\frac{Ni}{0.67} = \frac{Pi}{(Li-6.5)/2} = \frac{14.66-Pi}{(Li+1-6.5)/2}, \quad \frac{Pi}{14.66-Pi} = \frac{(Li-6.5)}{(Li+1-6.5)}$$

$$Pi = \frac{14.66(Li-6.5)}{(Li+(Li+1)-13)}, \quad Li = 19.96 \text{ และ } Li+1 = 19.96, \quad Pi = 7.33 \text{ --------Ⓑ}$$

$$Ni = \frac{0.67}{(Li-6.5)/2} * \frac{14.66(Li-6.5)}{(Li+(Li+1)-13)}, \quad Li = 19.96 \text{ และ } Li+1 = 19.96, \quad Ni = 0.73 \text{ --------Ⓒ}$$

From Ⓐ, Ⓑ, Ⓒ Length of draped tendon $L_D = 1.65 + \sqrt{7.67^2 + H1^2} + \sqrt{7.33^2 + H1^2} + (5 \times 6.50) + \sqrt{7.33^2 + H2^2} + \sqrt{7.67^2 + H2^2} + 1.61$

$$+\sum_{i=1}^{4} \left(\sqrt{Pi^2 + Ni^2} + \sqrt{(14.66 - Pi)^2 + Ni^2}\right)$$

$$= 35.76 + \sqrt{58.8289} + .73^2 + \sqrt{53.7289 + .73^2} + \sqrt{53.7289 + .73^2} + \sqrt{53.7289 + .73^2} + \sum_{i=1}^{4} \left(\sqrt{7.33^2 + .73^2} + \sqrt{7.33^2 + .73^2}\right)$$

$$= 35.76 + 7.705 + 7.366 + 7.366 + 7.705 + 4\,(7.366 + 7.366) = 124.83 \text{ M.}$$

Preload for draped tendon before held up = F – force to held up (P_2)

① For I – Girder $= 14{,}024 - \dfrac{\Delta.AE}{L_B} = 14{,}024 - \dfrac{(L_D - L_B)\,AE}{L_B}$

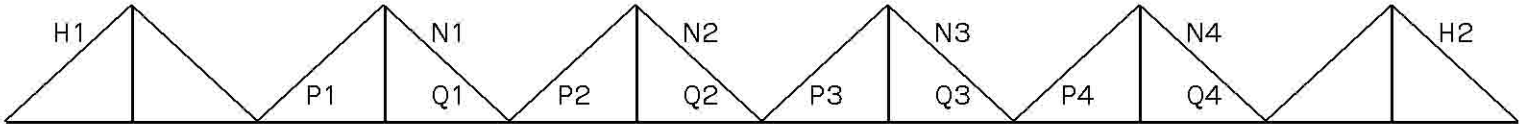
$$= \frac{14{,}024 - (124.83 - 124.40) \times 0.9871 \times 2{,}000{,}000}{124.40}$$

$$= 14{,}024 - 6{,}824 = 7{,}200 \text{ Kg.}$$

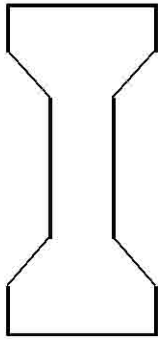
② For C – Girder = 13,828 – 6,824 = 7,004 Kg.

Remark : Force 6,824 Kg. Is held up load for draped tendon after Preload 7,200 or 7,004 Kg. to meet specification of Strand 14,024 or 13,828 Kg, respectively.

Prestressing Force For I – Girder For 19.96 M. Length



GIRDER	1	2	3	4	5	
① Type	I	I	I	I	I	
② Tendon	Draped	Draped	Draped	Draped	Draped	
③ Length M.	L1=19.96	L2=19.96	L3=19.96	L4=19.96	L5=19.96	
④ (Li - 6.5)	13.46	13.46	13.46	13.46	13.46	
⑤ (Li + (Li + 1)-13)		26.92	26.92	26.92	26.92	
⑥ Hold Up Height Hi = 9.822 / ④ Ni = 19.644 / ⑤	H1= 0.733	N1= 0.733	N2= 0.733	N3= 0.733	N4= 0.733	H2= 0.733
⑦ HU - HD Distance Pi = (14.66* ④/⑤) Qi = (14.66 - Pi)		P1 = 7.33 Q1 = 7.33	P2 = 7.33 Q2 = 7.33	P3 = 7.33 Q3 = 7.33	P4 = 7.33 Q4 = 7.33	
⑧ Deflected Tendon Length M.	$35.76 + \sqrt{58.8289 + (H1)^2} + \sqrt{53.7289 + (H1)^2} + \sqrt{53.7289 + (H)^2} + \sqrt{58.8289 + (H2)^2} + \sum_{i=1}^{4} [\sqrt{(Pi)^2 + (Ni)^2} + \sqrt{(Ni)^2 + (Qi)^2}] = 124.83$ M.					
⑨ Preload For Deflected Tendon Kg.	14,024 - (⑧ - 124.40)*16,737 = 14,024 - 6,824 = 7,200 Kg.					
⑩ Preload - Reading	(⑨ + 183) / 41.902 = 176 Bar , Δ P = 35.96 CM.					



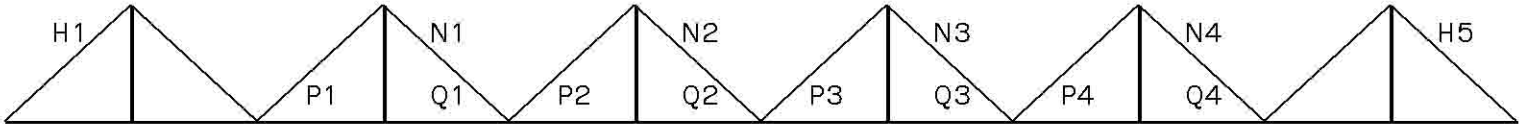
Straight Tendon
=14.024 T/STRAND = 339 Bar
Preload of 40 Bar, Actual load =
(40x41.902)-183=1,493 Kg.

■ Check Δ of Preload for Draped Tendon atter Preload (40 Bar) $\Delta P = \frac{PP.L}{AE} = \frac{(7,200 - 1,493) * 124.400*100}{0.9871 \times 2 \times 10^6}$

= 35.96 CM.

Total Elongtion for Draped Tendon after Preload = 35.96 + Slipage 0.5 CM. = 36.46 CM. ⇨ Say 36.5 CM.

Prestressing Force For C – Girder For 19.96 M. Length



GIRDER	1	2	3	4	5	
① Type	[	[	[	[	[	
② Tendon	Draped	Draped	Draped	Draped	Draped	
③ Length M.	L1=19.96	L2=19.96	L3=19.96	L4=19.96	L5=19.96	
④ (Li - 6.5)	13.46	13.46	13.46	13.46	13.46	
⑤ (Li + (Li + 1)-13)		26.92	26.92	26.92	26.92	
⑥ Hold Up Height Hi = 9.822 / ④ Ni = 19.644 / ⑤	H1= 0.733	N1= 0.733	N2= 0.733	N3= 0.733	N4= 0.733	H2= 0.733
⑦ HU - HD Distance Pi = (14.66* ④/⑤) Qi = (14.66 - Pi)		P1 = 7.33 Q1 = 7.33	P2 = 7.33 Q2 = 7.33	P3 = 7.33 Q3 = 7.33	P4 = 7.33 Q4 = 7.33	

⑧ Deflected Tendon Length M.

$$35.76 + \sqrt{58.8289 + (H1)^2} + \sqrt{53.7289 + (H1)^2} + \sqrt{53.7289 + (H5)^2} + \sqrt{58.8289 + (H5)^2} + \sum_{i=1}^{4} \left[\sqrt{(Pi)^2 + (Ni)^2} + \sqrt{(Ni)^2 + (Qi)^2}\right] = 124.83 \text{ M.}$$

⑨ Preload For Deflected Tendon Kg.

$13{,}828 - (⑧ - 124.40) * 16{,}737 = 13{,}828 - 6{,}824 = 7{,}004$ Kg.

⑩ Preload - Reading

$(⑨ + 183) / 41.902 = 172$ Bar, $\Delta P = 34.73$ CM.

■ Check Δ of Preload for Draped Tendon atter Preload (40 Bar)

$$\Delta P = \frac{PP.L}{AE} = \frac{(7{,}004 - 1{,}493) * 124.400 * 100}{0.9871 \times 2 \times 10^6}$$

$$= 34.73 \text{ CM.}$$

Straight Tendon
=13.828 T/STRAND = 334 Bar
Preload of 40 Bar = 1,493 Kg.

Total Elongtion for Draped Tendon after Preload = 34.73 + Slipage 0.5 CM. = 35.23 CM. ⇨ Say 35.3 CM.

CALCULATION OF STRAND ELONGATION

SUBJECT : ELONGATION OF STRAIGHT STRAND Ø 12.7 M.M. FOR 19.96 M.

I.-GIRDER

Strand : - Ø 12.7 mm. Strand comformed to TIS 420 Grade 1860 (270 k)

- Initial prestressing force = 14,024 kg.

Δ = PL / AE

P = $P_F + P_1$

P_F = $P - P_1$

When P = Jacking force of strand = 14,024 kg.

P_1 = Preload, kg.

P_F = Final Tension, kg.

A = Sectional Area of strand = 98.71 $mm.^2$

E = Modulus of Elasticty = 2×10^6 $kg./cm.^2$

L = Bed length = 124.40 m.

$$\Delta \text{ of } P_F = \frac{(P - P_1)\, L}{AE}$$

using stressing machine No. 03/94*

Preload of 40 Bars = Actual Load 1,503 kg.

By substituting : = 1,493 kg. (New Calibration)

$$\Delta \text{ of } P_F = \frac{(14{,}024-1{,}493)\times(12{,}440)}{0.9871 \times 2 \times 10^6} = 78.96 \text{ cm.}$$

Plus slipage of 0.5 cm.

Total Elongation = 78.96 + 0.5 = 79.46 cm.

$$\text{Guage Reading} = \frac{14{,}024 + 183}{41.902} = 339 \text{ Bars.}$$

Note*Calibration attached.

CALCULATION OF STRAND ELONGATION

SUBJECT : ELONGATION OF STRAIGHT STRAND Ø 12.7 M.M. FOR 19.96 M. C. GIRDER

Strand : - Ø 12.7 mm. Strand comformed to TIS 420 Grade 1860 (270 k)

- Initial prestressing force = 13,828 kg.

Δ = PL / AE

P = $P_F + P_1$

P_F = $P - P_1$

When P = Jacking force of strand = 13,828 kg.

P_1 = Preload, kg.

P_F = Final Tension, kg.

A = Sectional Area of strand = 98.71 $mm.^2$

E = Modulus of Elasticty = 2×10^6 $kg./cm.^2$

L = Bed length = 124.40 m.

$$\Delta \text{ of } P_F = \frac{(P - P_1)\, L}{AE}$$

using stressing machine No. 05/94*

Preload of 40 Bars = Actual Load 1,503 kg.

= 1,493 kg. (New Calibration)

By substituting :

$$\Delta \text{ of } P_F = \frac{(13{,}828 - 1{,}493) \times (12{,}440)}{0.9871 \times 2 \times 10^6} = 77.73 \text{ cm.}$$

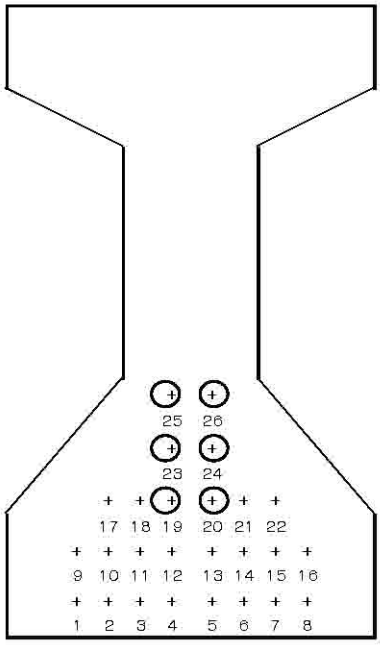
Plus slipage of 0.5 cm.

Total Elongation = 77.73 + 0.5 = 78.23 cm.

$$\text{Guage Reading} = \frac{13{,}828 + 183}{41.902} = 334 \text{ Bars.}$$

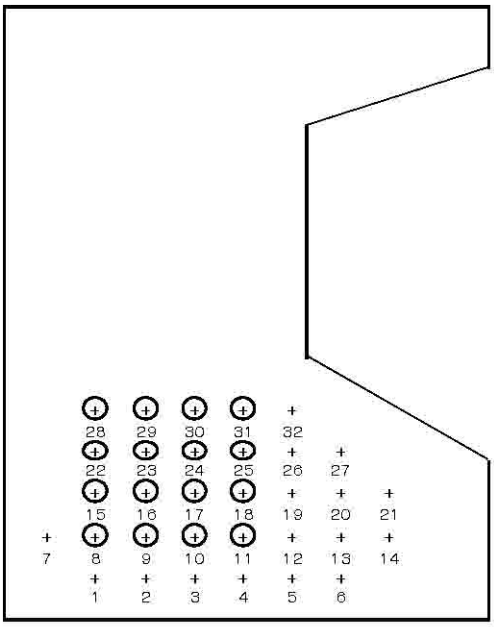
Note*Calibration attached.

STRANDS CUTTING SEQUENCE



1. RELEASE HOLD UP ลงทุกจุด
2. ถอด BOLT HOLD DOWN
3. RELEASE DEFLECTED STRAND ⊕
   1. st NO. 25 , 26
   2. nd NO. 23 , 24
   3. rd NO. 19 , 20
   4. th NO. 12 , 13
4. RELEASE STRANDs +
   1. st NO. 17 , 22
   2. nd NO. 18 , 21
   3. rd NO. 9 , 16
   4. th NO. 10 , 15
   5. th NO. 11 , 14
   6. th NO. 1 , 8
   7. th NO. 2 , 7
   8. th NO. 3 , 6
   9. th NO. 4 , 5

STRANDS CUTTING SEQUENCE



1. RELEASE HOLD UP ลงทุกจุด

2. ถอด BOLT HOLD DOWN

3. RELEASE DEFLECTED STRANDS ⊕

   1. st NO. 28 , 29 - 30 , 31
   2. nd NO. 22 , 23 - 24 , 25
   3. rd NO. 15 , 16 - 17 , 18
   4. th NO. 8 , 9 - 10 , 11

4. RELEASE STRAND ⊕

   1. st NO. 32
   2. nd NO. 26 , 27
   3. rd NO. 19 , 20 - 21
   4. th NO. 7 , 14
   5. th NO. 12 , 15
   6. th NO. 1 , 6
   7. th NO. 2 , 5
   8. th NO. 3 , 4

NT

In Institute of Technology

2 Paholyothin Highway, Klong Luang, Pathumthani, Thailand 12120

Box 2754 Bangkok 10501. Thailand. Tel.(66-2)516-0110-44. Fax.(66-2)516-2126 & SEC Fax.(66-2)524-6059

SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

STRUCTURAL ENGINEERING AND CONSTRUCTION PROGRAM,

PE OF TEST : CALIBRATION TEST.

ST SPECIMEN : The stressing machine consisls of the hydraulic jack No:. 03-94 and the hydraulic pump 05 - 94 filled with the "PAUL" Pressure Gauge of Maximum capacity 600 bar.

ENT : T.A. COMPANY LIMITED.

TE OF TEST : October 12, 1995.

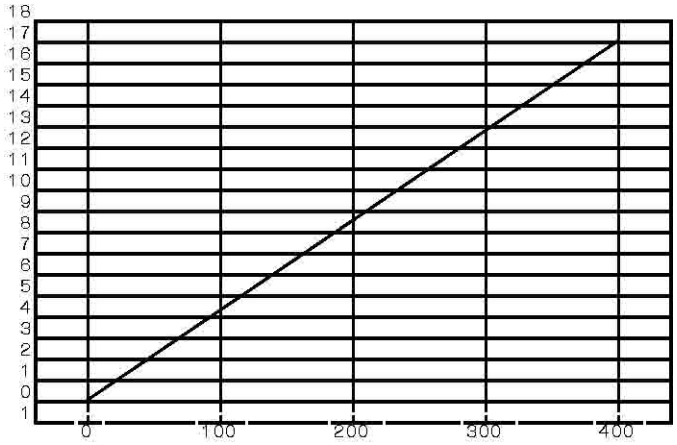
ST MACHINE : A 25-ton Standard Load Cell "MAYES" Type : 403 Serial No. : 2191 N and a porlable Data Logger TDS -301, Serial No.035232, manufactured by "Tokyo Sokki Kenkyujo Co.,ltd., JAPAN" are used in the test.

TEST RESULTS :

Gauge Reading (bal)	Actual Load Readings (ton) Test No.1	Test No.2	Test No.3	Average (kgf)	Remarks
0	0.00	0.00	0.00	0	It was calibrated up to 400 bar at the ambient temperature of 29 degrees Celsius. kgf = kilogram-force
40	1.50	1.49	1.52	1,503.00	
80	3.13	3.44	3.16	3,243.00	
120	4.79	4.80	4.82	4,803.00	
160	6.52	6.47	6.56	6,517.00	
200	8.20	8.14	8.22	8,187.00	
240	9.87	9.81	9.78	9,820.00	
280	11.52	11.49	11.48	11,497.00	
320	13.27	13.24	13.25	13,253.00	
360	14.85	14.97	14.89	14,903.00	
400	16.58	16.64	16.66	16,627.00	

CALBRA NON CURYE

THE GIHEGSIHG MACHUE NO : 0594



GAUGEREADIHG.RAM

THE CALIBRATION EQUATION:-

Aclual Load, kgf

= Gauge Reading, bar x 41.902 - 183

TESTED BY;

MR. SAMWAI, MR.EAD AND MR. SAKDA

CHECKED & APPROVED BY:

MR. GHALAT CHOEYPUNT

SENIOR LABORATORY SUPERVISOR

OCTOBER 12, 1995.

งานคานคอนกรีตอัดแรงแบบดึงภายหลัง

(Post-tensioned Girder)

วิธีการดึงลวดเหล็กอัดแรง

1. ใส่ Jack ดึงที่ปลายคานทั้ง 2 ข้าง แล้วทำการ Pre load ที่ 5 Mpa ก่อน เพื่อให้ลวดเหล็กอัดแรงที่ตกท้องช้าง และม้วนเป็นเกลียวอยู่ได้คลายตัวและตึงขึ้น
2. นำ Jack ออกแล้วพ่นสีที่ลวดเหล็กอัดแรงที่ปลายลวดทั้ง 2 ข้าง
3. ทำการเริ่มดึงเพิ่มทีละ 5 MPa โดยหยุดและวัดระยะสีทุกๆ ช่อง 5 MPa โดยวัดสีทั้ง 2 ข้าง
4. ใช้แรงดึงจนถึงแรงดึงที่กำหนดไว้ของแต่ละข้าง
5. นำ Jack ออกแล้ววัดระยะค่าสีที่ปลายลวดเหล็กอัดแรงทั้ง 2 ข้าง

วิธีการคำนวณค่า Elongation

ใช้สูตร $P_1 = P_O * e^{-(ua+kx)}$

โดยที่

- X = ระยะทางจากปลายด้านที่ทำการดึงลวดเหล็กอัดแรง
- P_1 = แรงดึงภายในลวดเหล็กอัดแรงที่ระยะ X
- P_O = แรงดึงระบุที่ปลายด้านที่ทำการดึงลวดเหล็กอัดแรง (Jacking Force)
- e = ค่าฐานของ Napierian Longarithms = 2.718283
- u = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างลวดเหล็กอัดแรงและ Duct
- a = ผลรวมของมุมที่เปลี่ยนแปลงจากปลายด้านที่ทำการดึงถึงระยะ X เป็นเรเดียน
- k = Wobble Friction Coefficient เนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการวาง Profile ของ Duct

ค่าสัมประสิทธิ์ของ u และ k ขึ้นอยู่กับชนิดของลวดและท่อร้อยลวด และองค์ประกอบอื่นอีก

จากนั้นหา $P_m = (P_o - P_1) / (ua+kx)$

และค่า Elongation = $(P_m * X * 1000000)/(E \text{ of Strand} * No \text{ of Strand} * Area \text{ of Strand})$ หน่วยเป็น mm.

ตัวอย่างการคำนวณค่าการยืดตัว (Elongation)

กำหนดค่า $u = 0.15$

$X = 27.1$ m.

$k = 0.0008$

$a = 0.1$ rad.

$P_0 = 2500$ kn.

No. of Strand = 12 เส้น

Area of Strand = 141.7 $mm.^2$

แทนค่าในสูตร $P_1 = P_0 * e^{-(ua+kx)}$

$= 2500 \times e^{-(015 \times 0.1 + 0.0008 \times 27.1)}$

$= 2409.9$ kn.

หา P_m โดยแทนค่าในสูตร $P_m = (P_o - P_1) / (ua+kx)$

$$= \frac{(2500 - 2409.9)}{(0.15 \times 0.1 + 0.0008 \times 27.1)}$$

$= 2456.4$ kn.

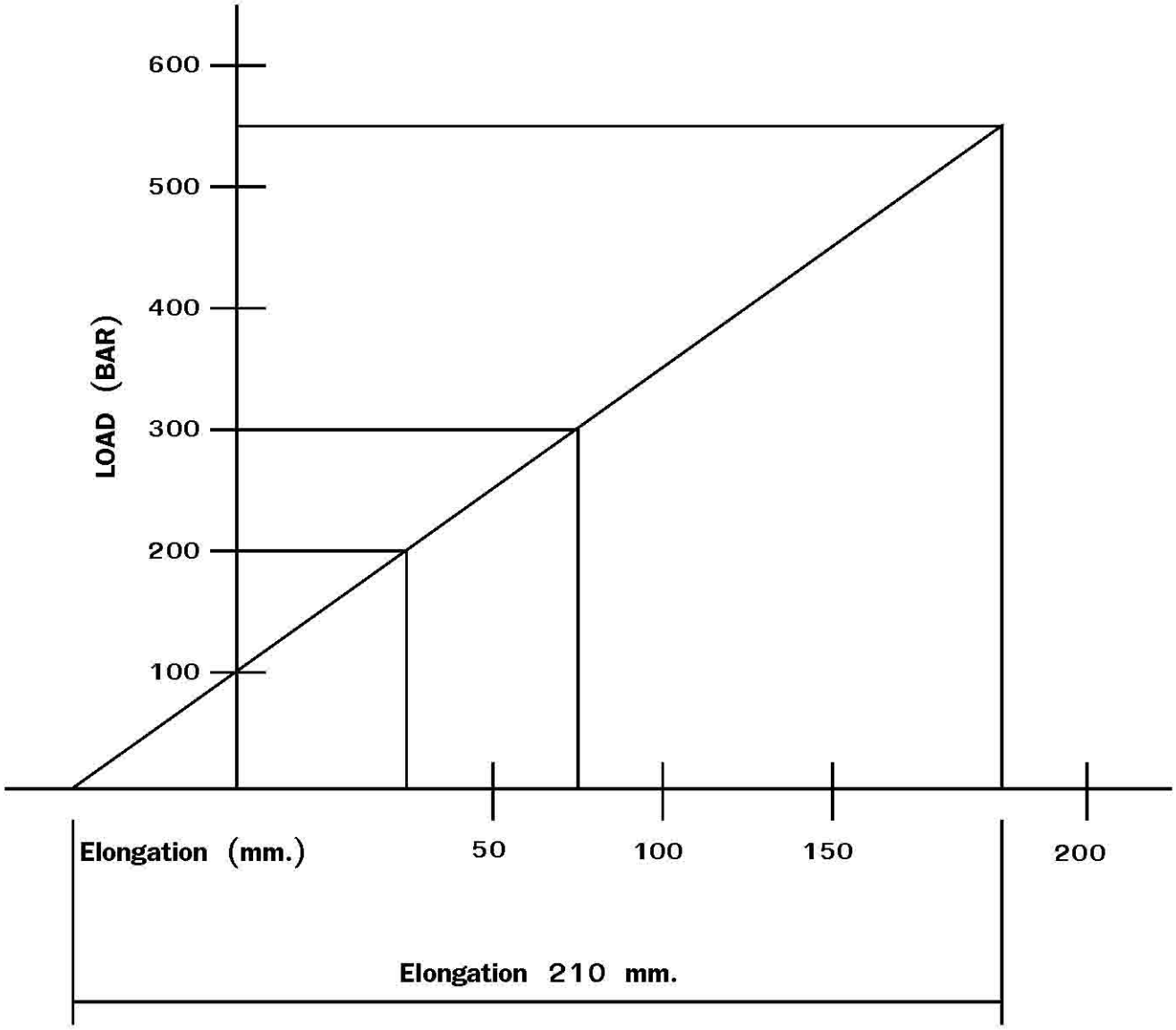
เพราะฉะนั้น ค่า Elongation = $(P_m * X * 1000000) / (E \text{ of Strand} * \text{No of Strand} * \text{Area of Strand})$

$$= \frac{(2456 \times 27.1 \times 1000000)}{(195000 \times 12 \times 141.7)}$$

$= 201$ mm.

การดึงลวดเหล็กอัดแรง

ค่า Jacking Force Po	=	2500	Kn.
Elongation	=	201	mm.
ค่า Wedge Draw-in	=	6	mm.
ค่า Elongation in jack	=	3	mm.
รวมค่า Elongation	=	210	mm.
แปลงค่าจากการ Calibrated	=	523	bar.



ภาคผนวก – ค

แผ่นยางรองคาน

การทดสอบแผ่น Elastomeric Bearing Pad ชนิดเสริมเหล็ก

วิธีการทดลองโดยวิธี Quick Production Test มีจุดประสงค์ ดังนี้คือ

1. Check for Misplaced Reinforcing Plate
2. Bond Failure at Steel/ Elastomer Interface
3. Surface Defects
4. ค่า Stiffness ของแผ่น Elastomeric Bearing

เครื่องมือที่ทำการทดลองประกอบด้วยเครื่อง Compression มีประสิทธิภาพที่สามารถกดด้วยแรงมากกว่า Max Design Load ประมาณ 1.5 – 2 เท่า และ Dial Guage ที่สามารถอ่านค่า Deflection ได้ละเอียดถึง 1/100 มิลลิเมตร

ก่อนทำการทดลองกดแผ่น Elastomeric Bearing ให้ค่อยๆเพิ่ม Load ถึง Max Design Load ตามที่ Design ไว้แล้วค่อยๆ ปล่อย Load ลงทีละน้อย วิธีการนี้เพื่อให้แผ่น Bearing ปรับตัวก่อนแล้วจึงจะเริ่มการทดลอง โดยเพิ่ม Load ขึ้นทีละน้อยและจดบันทึกค่า Load และ Deflection เมื่อ Load ถึง 1/3 ของ Max Design Load ให้จดค่า Deflection ($\Delta 1$) ของ Bearing ไว้แล้วค่อยๆ เพิ่ม Load จนถึง Max Design Load ให้จดค่า Deflection ($\Delta 2$) อีกครั้งหนึ่ง นำค่าที่ได้มาหาค่า Compressive Stiffness (KC)

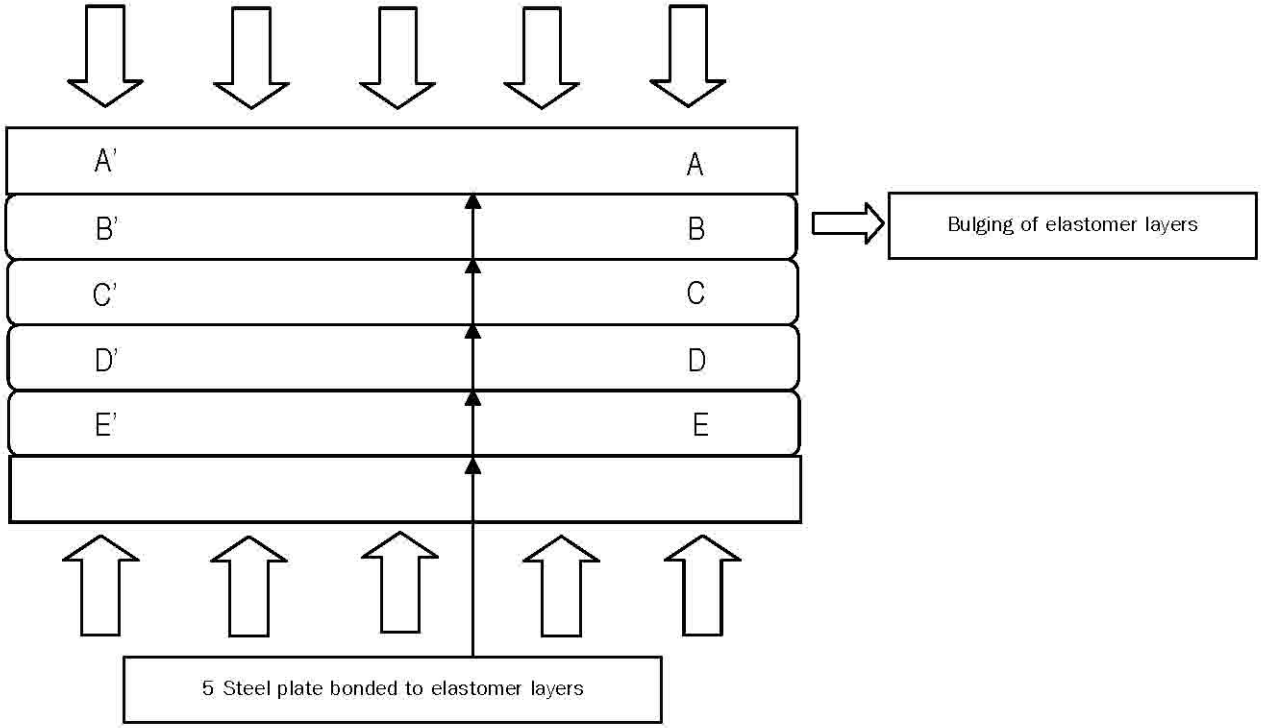
$$\text{Stiffness (KC)} = \frac{\text{Max Design Load} - 1/3\ \text{Max Design Load}}{\text{Total Deflection } (\Delta 2 - \Delta 1)}$$

(ดูรายละเอียดแนบท้าย)

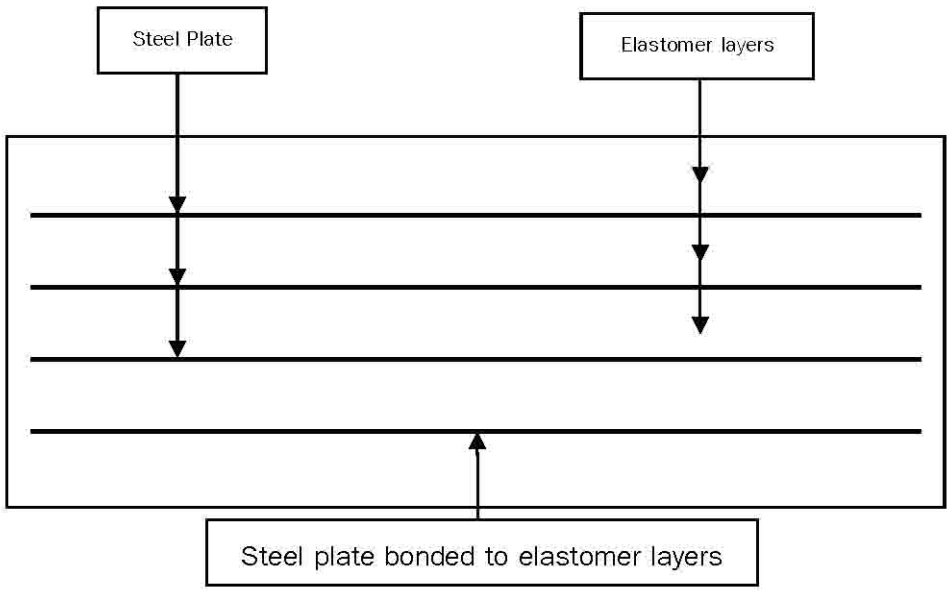
ค่า KC (Compressive Stiffness หรือ Vertical Stiffness) จากการทดลองต้องอยู่ใน Range ± 20% ของค่า KC เฉลี่ยใน Batch ที่ผลิต และไม่เกิน ± 20% ของค่า KC ที่ออกแบบด้วยจึงจะถือว่าผ่านการทดลองเฉพาะในค่า Compressive Stiffness และในระหว่างเพิ่ม Load ถึง Full Load ให้ค้าง Load ไว้เพื่อทำการตรวจสอบด้วยสายตาว่ามีสิ่งผิดปกติอื่นๆ หรือไม่ ดังนี้

1. ตรวจสอบว่าการเรียงแผ่นเหล็กภายในแผ่น Bearing วางเรียงตรงตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้ หรือไม่ และสามารถตรวจนับจำนวนแผ่นเหล็กเสริมภายในแผ่น Bearing ได้

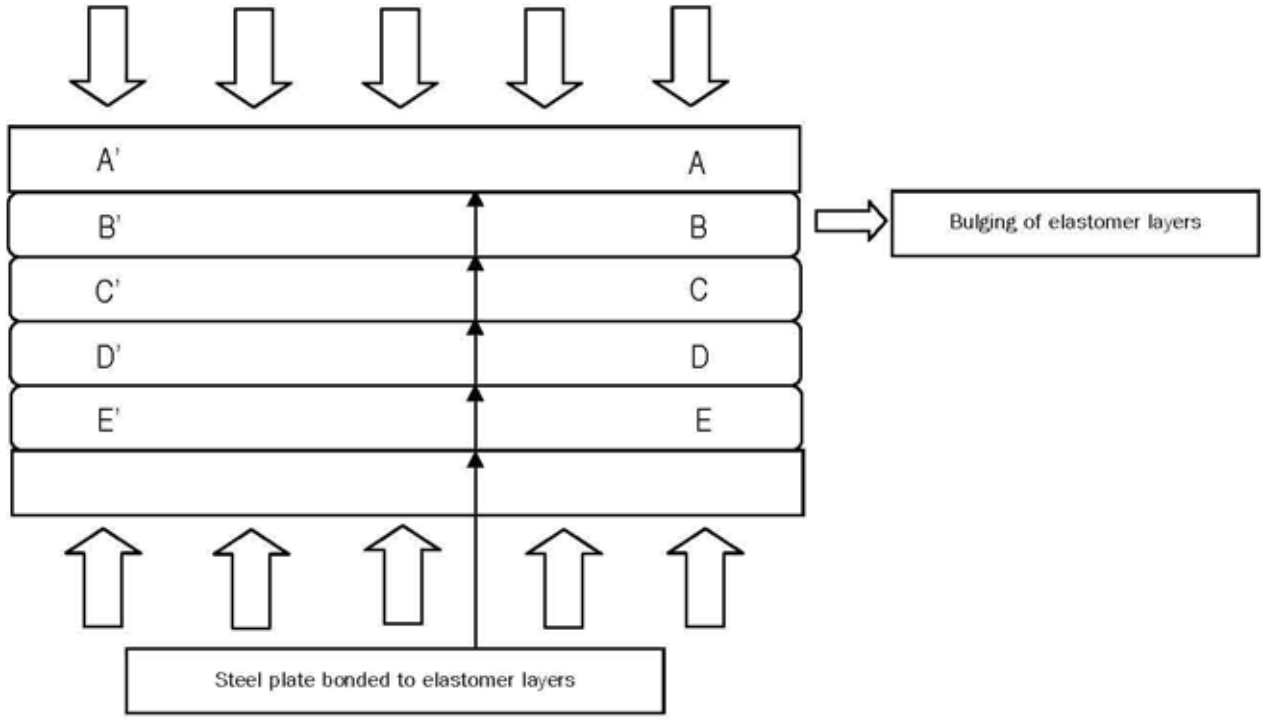
จากรูปที่ 1 ตรวจสอบการเสริมแผ่นเหล็กที่แนว A′A, B′B, C′C, D′D, E′E ครบจำนวนตามที่ออกแบบไว้



2. ถ้าแผ่นเหล็กวางไม่ตรงตำแหน่งเมื่อเวลากด Load จะสังเกตเห็นลักษณะของการพอง (Bulging) จะโย้ไปมาไม่อยู่ในแนวดิ่ง ตามรูปจุด A B C D E ถ้าอยู่ในแนวดิ่ง เมื่อเวลาใส่ Load จะสังเกตได้ง่าย Bulging จะปูดออกมาเท่าๆ กันถือว่าผ่านการทดสอบไปอีก 1 ขั้น ดังรูปที่ 1 (b)



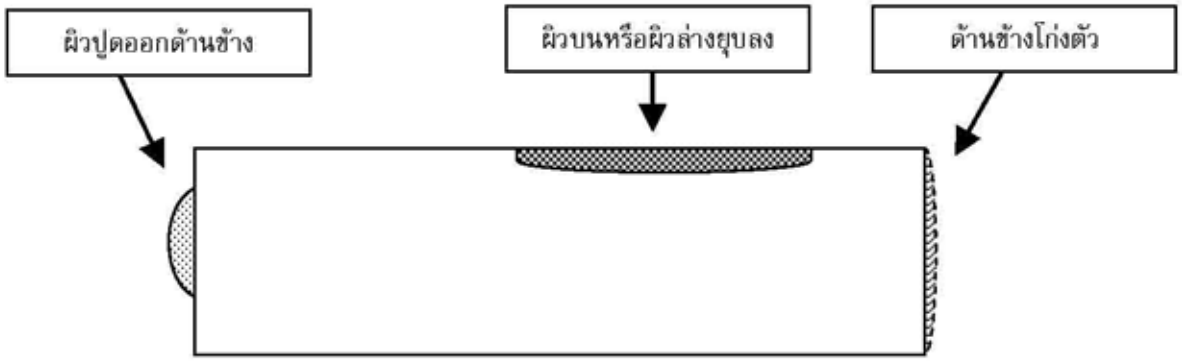
(a) Steel plate bonded to elastomer layers



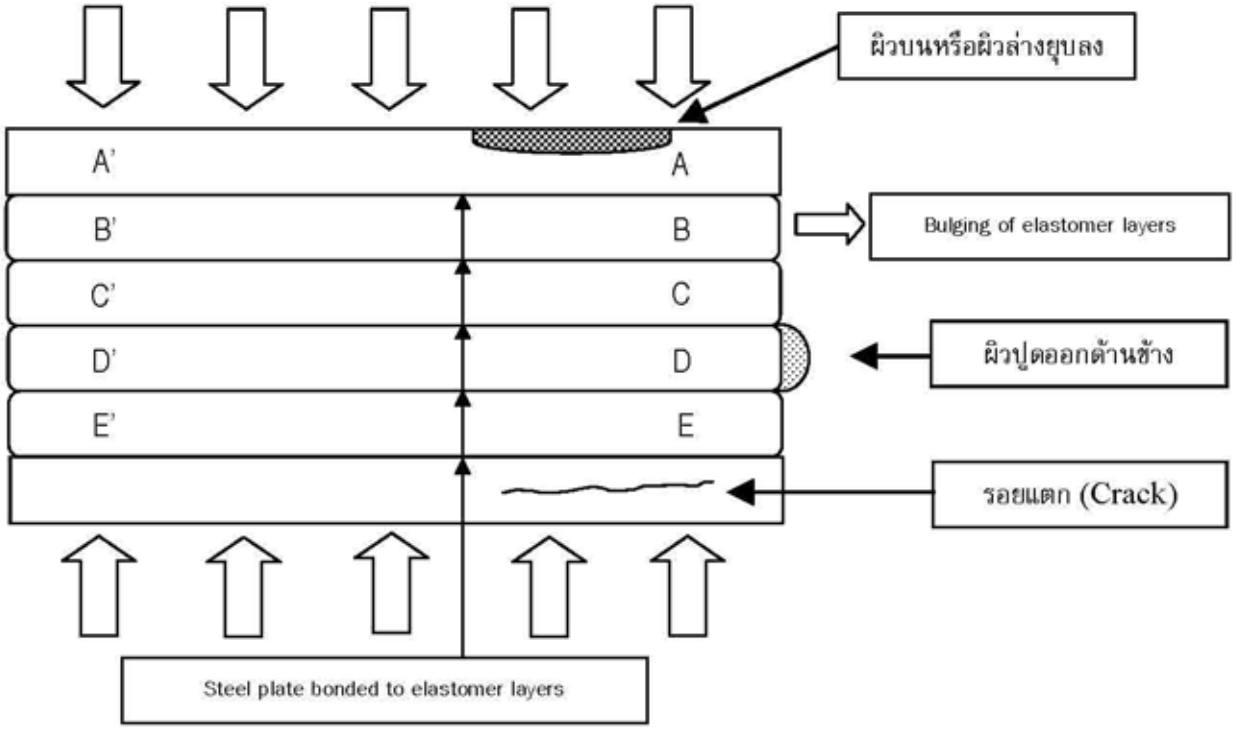
(b) Loaded Bearing Pad

3. กรณีไม่เกิด Bond Failure at the steel / Elastomer ลักษณะการพอง (Bulging) ทุกอันจะโป่งออกมาเท่าๆ กัน หากมี Bond Failure ที่ใด Bulging ที่อยู่ติดกับแผ่นเหล็กนั้นจะโป่งออกมากกว่าที่อื่น ดังรูปที่ 2

4. กรณีเกิด Surface Defects เนื่องจากการผลิตหรือภายหลังการทดสอบ โดยสังเกตจากผิวหน้าของแผ่นยางยุบลงหรือโป่งออก



5. ตรวจสอบรอยแตก (Crack) บนแผ่นยางขณะทดสอบ และภายหลังการทดสอบ



การทดสอบแผ่น Plain Bearing ชนิดไม่เสริมแผ่นเหล็ก

ตามมาตรฐาน BS 5400 : Section 9.2 ให้ทำ Load test เพื่อตรวจสอบการแสดงผลของ Bearing ทั้งความสามารถของการใช้งาน (Serviceability) และ Ultimate limit stage ก่อนการทดสอบควรทำการกดแผ่น Bearing ถึง Load ที่ใช้งานแล้วปล่อย Load จากนั้นจึงทำการทดลองแผ่น Bearing โดยการเพิ่มแรงกดอย่างช้าๆ และจดค่า Load และค่า Deflection ทุกๆ ค่าตาม Rate ที่เพิ่มขึ้นจนถึง Maximum Load และค้างไว้จนกระทั่ง Creep ที่เกิดขึ้นยุติลง (ขณะที่เข็มของ Dial Gauge อ่านค่าของ Deflection หยุดนิ่ง) จากนั้นคลาย Load ลงตาม Rate เหมือนการเพิ่ม Load ตรวจสอบและบันทึกค่า deflection ของทุกๆ Load เดียวกันขณะเพิ่มขึ้นและลดลง หากค่า deflection ไม่เกิน 20 % แสดงว่าแผ่น Bearing นั้น ผ่านการทดสอบ

ตัวอย่าง การบันทึกการตรวจสอบค่า Load – Deflection ขณะเพิ่ม Load ขึ้น และคลาย Load ลง (Rebound) เป็น Cycle ดังนี้

ตารางทดสอบ Cycle ที่ 1

ขณะเพิ่ม Load		ขณะคลาย Load		เปรียบเทียบ
Load (KN)	Deflection (MM)	Load (KN)	Deflection (MM)	Deflection ขณะเพิ่มและลด Load
100 ↓	0.10	100	0.11	10 % *
200 ↓	0.20	200	0.20	0 % *
300	0.30	300 ↑	0.33	10 % *
400	0.40	400 ↑	0.45	12.5 % *
500	0.50	500	0.50	0 % *

หมายเหตุ * ค่าที่ได้ต้องไม่เกิน 20 % ผลการทดสอบจึงใช้ได้

ตารางทดสอบ Cycle ที่ 2

ขณะเพิ่ม Load		เปรียบเทียบ	ขณะคลาย Load		*เปรียบเทียบค่า*
Load (KN)	Deflection (MM)	ค่า Deflection Cycle 1และ Cycle 2	Load (KN)	Deflection (MM)	ค่า Deflection Cycle 1 และ Cycle 2
100	0.10 *	0%	100	0.11	0 % *
200	0.20 *	0%	200	0.21	5 % *
300	0.30 *	0%	300	0.34	3 % *
400	0.40 *	0%	400	0.47	4 % *
500	0.50 *	0%	500	0.52	4 % *

หมายเหตุ * ค่าที่ได้ต้องไม่เกิน 5 % ผลการทดสอบจึงใช้ได้

จากตัวอย่างจะเห็นว่าค่า Deflection ขณะเพิ่ม Load และขณะคลาย Load ที่ Load ค่าเดียวกันใดๆ แตกต่างกันไม่เกิน 20 % แสดงว่าแผ่น Bearing ตัวอย่างนี้ ผ่านการทดสอบใน Cycle แรกนี้ และทดสอบต่อใน Cycle ที่สอง ถ้าผลที่ได้ให้ค่าแตกต่างจาก Cycle แรก ไม่เกิน 5 % ที่ Load เดียวกันแสดงว่าตัวอย่างนี้ผ่านการทดสอบโดยสมบูรณ์สามารถนำไปใช้ได้

สรุป ลักษณะ Failure ที่พบในขณะทดลองและคุณสมบัติที่ต้องได้จากการทดลองด้วย Max Design Vertical Load กับ Elastomeric Bearing Pad BS 5400 Section 9.2

1. Surface Deface
2. ลักษณะของ Bulging ผิดปกติเพราะ Bond Failure ระหว่างแผ่นเหล็กกับ Elastomer หรือความหนาของแผ่น Elastomer ภายในต่างกันมาก (โอกาสเกิดขึ้นน้อย)
3. รอย Crack ของแผ่นยาง

4. ค่า V-Stiffness หรือ Compresive Stiffness ของแต่ละแผ่นจะต้องต่างกันไม่เกิน 20 % ของค่า Average Stiffness ในการผลิต Bearing ใน Batch นั้นๆ และต้องต่างกันไม่เกิน 20 % ของค่า Design Stiffness ด้วยเช่นกันจึงถือว่าใช้ได้
5. ค่า V-Stiffness ต้องทดสอบ 2 ครั้งติดต่อกันและค่าที่ได้ต้องต่างกันไม่เกิน 5 % จึงถือว่าใช้ได้
6. Elastomeric Bearing ทั้งแบบเสริมเหล็กและไม่เสริมเหล็กต้องมีคุณสมบัติพื้นฐานทางกลของวัสดุยางที่ใช้ทำเป็นไปตามข้อกำหนดดังตารางต่อไปนี้

Property	**Rubber**	
	Natural	**Chloroprene**
Tensile Strength, min	15.5 N/mm^2	15.5 N/mm^2
Elongation at break, min		
At Hardess 45-55	450 %	400 %
56-65	400 %	350 %
66-75	300 %	300 %
ค่าเปลี่ยนแปลงหลังอบความร้อน		
Hardness, max	10	15
Tensile Strength, max	15 %	15 %
Elongation at break, max	20 %	40 %
* Compression Set, max	30 %	35 %

* Compression Set หมายถึงการยุบตัวของ Bearing

หมายเหตุ : อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองกดแผ่น Bearing ต้องเป็นแผ่นเหล็ก Stainless Steel หรือแผ่น Chromium ผิวเรียบขัดมัน ลักษณะแบน 2 แผ่นขึ้นไปวางประกบกับแผ่น Bearing ที่ทดสอบ ได้ระนาบขนานกันทุกด้านที่ถูกกด

QUICK PRODUCTION TEST

KHLONG KUM INTERCHANGE

Manufacturer ADVANCE POLYMER J.T.CO.LTD.

Contractor ROJSIN COSTRUTION CO..LTD.

Bearing Type BEARING B.C.D.Y.Z FIXED SIZE 400 X 250 X 29 MM.

Part no 040 - 210

Max Vertical Load 769 kn

Tested By .....

Approve .....

Date .....

Bearing Part no.	Misplaced Reinforcing Plates	BondFailures at Steel / Elastomer Interface	Surface Defects	Dial Reading at 1/3 Max.Design Load B (1/100 mm)	Dial Reading at Max.Design Load A (1/100 mm)	C = (A-B) 0.01 MM.	Compressive Stiffness 769-256/C (KC) KN/MM
040	No Defect	No Defect	No Defect	85	139	0.54	950
041	No Defect	No Defect	No Defect	131	185	0.54	950
042	No Defect	No Defect	No Defect	90	149	0.59	869
043	No Defect	No Defect	No Defect	104	156	0.52	987
044	No Defect	No Defect	No Defect	86	149	0.63	814
045	No Defect	No Defect	No Defect	85	140	0.55	933
046	No Defect	No Defect	No Defect	93	153	0.6	855
047	No Defect	No Defect	No Defect	89	148	0.59	869
048	No Defect	No Defect	No Defect	83	140	0.57	900
049	No Defect	No Defect	No Defect	86	140	0.54	950
050	No Defect	No Defect	No Defect	69	125	0.56	916
051	No Defect	No Defect	No Defect	81	140	0.59	864
052	No Defect	No Defect	No Defect	89	148	0.59	869
053	No Defect	No Defect	No Defect	62	125	0.63	814
054	No Defect	No Defect	No Defect	110	170	0.6	855

Remark : Design Compressive stiffness = 919 kn/mm. ± 20% = 735-1102.8 kn/mm.

Physical Properties

BS 5400 : Section 9.2 : 1983			AASHTO Standard Specification for Highway Bridges. Fifteen Edition 1992							
Physical	Natural	Chloroprene	ASTM Standard	Physical Properties	Table 18.2.3.1A Neoprene			Table 18.2.3.1B Natural Rubber		
Tensile Strength. minimum (see 3.7.3.2)	15.5 N/mm^2	15.5 N/mm^2	D2240	Hardness (Shore A Durometer)	50±5	60±5	70±5	50±5	60±5	70±5
Elongation at break, minimum (see 3.7.3.2)			D412	Tensile Strength, Min psi.	2250	2250	2250	2250	2250	2250
				Ultimate Elongation Min %	400	350	300	450	400	300
45 IRHD TO 55 IRHD	450%	400%		Heat Resistance						
56 IRHD TO 65 IRHD	400%	350%		CR 70 hours at 212°F						
				NR 70 hours at 158°F						
66 IRHD TO 75 IRHD	300%	300%								
Aging resistance (see 3.7.3.3)			D573	Change in Durometer Hardness, max points	15	15	15	10	10	10
Maximum change from initial values:				Change in Tensile Strength, Max %	-15	-15	-15	-25	-25	-25
Hardness	10 IRHD	15 IRHD		Change in Ultimate Elongation, Max. %	-40	-40	-40	-25	-25	-25
Tensile Stength	15%	15%								
Elongation at break	20%	40%								
			D395 Method B	Compression Set CR 22 hours at 212°F NR 22 hours at 158°F	35	35	35	25	25	25
Compression set maximum (see 3.7.3.4)	30%	35%								
			D1149 Mounting Procedure D518, Procedure A	Ozone CR 100 pphm, 20% Strain, 100°F±2°F, 100 hours NR 25 pphm, 20% Strain, 100°F±2°F, 48 hours	No Cracks	No Cracks	No Cracks	No Cracks	No Cracks	No Cracks
			D429 Method B	Adhesion Bond made during vulcanization lbs/inch.	40	40	40	40	40	40

ตารางที่ 1 แสดงข้อกำหนดทางฟิสิกส์ของแผ่น Elastomeric Bearings

ภาคผนวก – ง

การผสม การลำเลียง การเทลงแบบ และการอัดแน่น

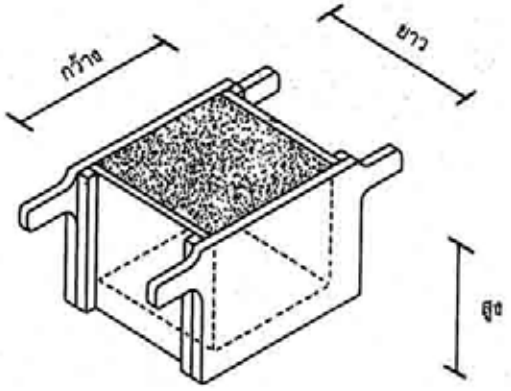
การผสม การลำเลียง การเทลงแบบ และการอัดแน่น

การที่จะทำให้คอนกรีตในโครงสร้างมีคุณภาพสม่ำเสมอปราศจากช่องว่าง และรอยต่อ ได้กำลังอัดและความทนทานตามข้อกำหนด ไม่ได้เกิดจากการออกแบบสัดส่วนผสมของคอนกรีตที่ดี และการทดสอบตามวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงวิธีการและขั้นตอนในการทำงาน อันได้แก่ การชั่งตวงสัดส่วนผสม วิธีการผสม การลำเลียง การเตรียมการสำหรับการเทคอนกรีต การเท การทำให้คอนกรีตอัดแน่น การแต่งผิวตลอดจนการบ่ม

การวัดส่วนผสม

การวัดส่วนผสมอาจทำได้ 2 วิธี คือ การตวงส่วนผสมโดยปริมาตรและการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก

- การวัดส่วนผสมโดยปริมาตร เหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก และคอนกรีตที่กำลังอัดค่อนข้างต่ำ แต่หากทำให้ถูกต้องก็สามารถผลิตคอนกรีตที่มีคุณภาพได้พอสมควร โดยผู้รับเหมาควรใช้กะบะมาตรฐานในการตวงปริมาตรของ หิน ทราย อย่างไรก็ตามความชื้นบนผิวมวลรวมจะมีผลต่อหน่วยน้ำหนักอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของมวลรวมละเอียด ซึ่งอาจมีหน่วยน้ำหนักเมื่อชื้นต่างจากเมื่อแห้งถึง 30 % การวัดปริมาณปูนซีเมนต์โดยทั่วไปจะประมาณจากจำนวนถุง เพราะปูนซีเมนต์มีน้ำหนักแน่นอน คือ 1 ถุง หนัก 50 กิโลกรัม ส่วนปริมาณน้ำอาจใช้ค่ายุบตัวเป็นเกณฑ์ควบคุม



รูปที่ 1 ตัวอย่างถังไม้ใช้ในการตวงปริมาตร หิน ทราย (กว้าง x ยาว x สูง)

- การวัดส่วนผสมด้วยการชั่งน้ำหนัก เป็นวิธีที่แน่นอนกว่าการตวงปริมาตรมาก เหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดใหญ่งานคอนกรีตกำลังอัดปานกลาง – สูง การวัดด้วยน้ำหนักยังมีผลดีต่อการปรับน้ำหนักส่วนผสมตามสภาพความชื้นของมวลรวมอีกด้วย ทั้งนี้ให้เป็นไปตาม ทล.ม.409 สำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตผสมเสร็จตาม มอก.213 สรุปในตารางที่ 1 ดังนี้

วัตถุดิบ	ปริมาณ	ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้
1. ปูนซีเมนต์	น้อยกว่า 200 กก.	± 2%
	มากกว่าหรือเท่ากับ 200 กก.	± 1%
2. มวลรวม	น้อยกว่า 500 กก.	± 3%
	มากกว่าหรือเท่ากับ 500 กก.	± 2%
3. น้ำ	-	± 3%
4. สารผสมเพิ่ม	-	± 3%

ตารางที่ 1 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนของการชั่งน้ำหนักวัสดุเพื่อใช้ผสมคอนกรีตตาม มอก.213-2520

การผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีตเป็นการนำปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ น้ำยาผสมคอนกรีตและวัสดุผสมอื่น ๆ ผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่พอเหมาะ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเคลือบหรือหุ้มผิวของมวลรวมทั้งหมดด้วยซีเมนต์เพสต์ และเพื่อผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เป็นเนื้อเดียวกัน อันจะส่งผลให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดี ถ้าการผสมไม่ทั่วถึงจะทำให้คุณภาพของคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ กำลังและคุณสมบัติต่าง ๆ ไม่เป็นไปตามต้องการ

- **วิธีการผสมคอนกรีต** จะผสมด้วยเครื่อง เครื่องที่ใช้ทั่วๆ ไปจะเป็นแบบ Batch Mixer คือ ส่วนผสมจะถูกลำเลียงเข้าไปผสม จากนั้นจะถูกปล่อยออกแล้วจึงลำเลียงส่วนผสมอีกส่วนหนึ่งเข้าไปใหม่

- **เครื่องผสมคอนกรีต**

เครื่องผสมคอนกรีต ถ้าจำแนกตามลักษณะการผสมสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ

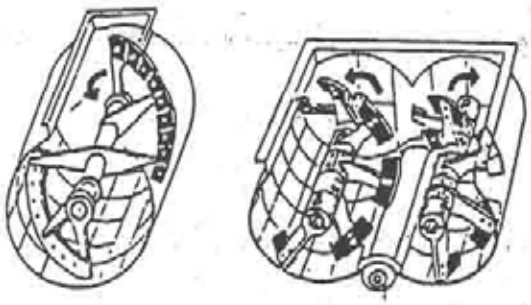
1.) Batch Mixer เป็นเครื่องผสมที่ผสมครั้งละ 0.5, 1 ลูกบาศก์เมตร หรืออื่น ๆ ตามที่เครื่องสามารถจุได้

2.) Continuous Mixer เครื่องผสมชนิดนี้จะผสมคอนกรีตอย่างต่อเนื่องส่วนมากจะออกแบบไว้ใช้กับงานเฉพาะ เช่น ใช้กับงานเทคอนกรีตถนน หรือสนามบิน เป็นต้น

แต่ถ้าจำแนกตามรูปลักษณะของเครื่องผสม สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ Drum Mixer และ Pan Mixer

1.) Drum Mixer สามารถจำแนกออกได้อีก 4 ประเภท คือ

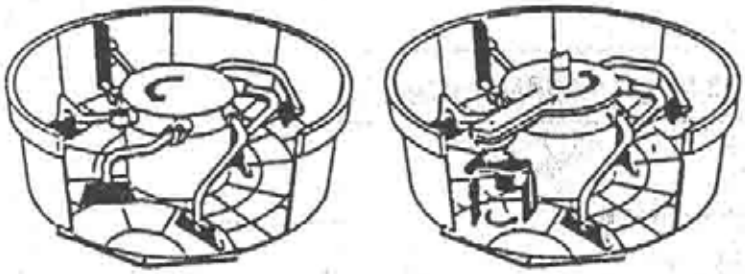
- Tilting Drum Mixer
- Non-Tilting Drum Mixer
- Stationery Drum Mixer หรือ Horizontal Shaft Mixer
- Dual Drum Mixer



(a) (b)

รูปที่ 2 Drum Mixer แบบเพลาเดี่ยว (a) และแบบเพลาคู่ (b)

2.) Pan-Type Mixer



(a) (b)

รูปที่ 3 Pan-Type Mixer แบบธรรมดา (a) และแบบที่มีใบกวนเพิ่ม (b)

นอกจากเครื่องผสมที่กล่าวมาแล้ว ยังมีการใช้รถผสมคอนกรีต ผสมคอนกรีตอีกด้วย โดยภายในตัวโม่จะมีใบกวนและใบผสม ประสิทธิภาพการผสมจะขึ้นอยู่กับใบกวนและใบผสมรวมทั้งจำนวนวัตถุดิบที่ใส่เข้าไปโดยทั่ว ๆ ไปจะผสมคอนกรีตครั้งละ 1 ลูกบาศก์เมตร จนครบจำนวน 5 – 6 ลูกบาศก์เมตร

- **การป้อนวัตถุดิบลงเครื่องผสม**

ไม่มีกฎทั่วไปเกี่ยวกับลำดับของการป้อนวัตถุดิบลงเครื่องผสม แต่ทั่ว ๆ ไปจะมีขั้นตอน ดังนี้

1.) เติมน้ำประมาณ 10% ลงในเครื่องผสมเสียก่อน

2.) ป้อนมวลรวม อันได้แก่ หิน และทราย เข้าเครื่องผสม

3.) เริ่มเติมปูนซีเมนต์หลังจากป้อนมวลรวมเข้าไปแล้ว 10%

4.) เติมน้ำ 80% ระหว่างการป้อนวัสดุอื่น ๆ และเติมน้ำ 10% สุดท้าย เมื่อป้อนวัสดุอื่น ๆ ทั้งหมดเข้าเครื่องแล้ว

5.) หากมีการใส่น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทผง ควรผสมรวมกับปูนซีเมนต์ก่อน หากเป็นของเหลวควรละลายน้ำยาผสมกับน้ำ

สำหรับในห้องปฏิบัติการ จะเริ่มจากการใส่ทรายก่อนตามด้วยหินบางส่วน ปูนซีเมนต์และน้ำ และใส่หินที่เหลือลงไปสุดท้าย เพื่อที่จะทำให้มอร์ต้าที่จับกันอยู่แตกตัวออก

- **เวลาในการผสม**

เวลาที่ใช้ในการผสมขึ้นอยู่กับ

- ชนิดและขนาดของเครื่องผสม
- สภาพของเครื่องผสม
- อัตราการหมุนของเครื่อง
- ปริมาณคอนกรีตที่ผสม
- ลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้

เวลาที่เหมาะสมที่สุด คือ เวลาที่ทำให้ได้ส่วนผสมที่สม่ำเสมอทุก ๆ ครั้งที่ผสม ซึ่งจะได้จากการทดสอบผสมในสภาพใช้งานจริง โดยสรุปได้ดังนี้

1.) ส่วนผสมที่แห้ง ขาดซีเมนต์ จะต้องผสมเป็นเวลานาน

2.) มวลรวมที่เป็นเหลี่ยมมุม ต้องผสมนานกว่ามวลรวมที่กลม

ตามมาตรฐานของอเมริกา แนะนำให้ใช้เวลาอย่างน้อย 1 นาที ในการผสมคอนกรีตภายใน 1 ลูกบาศก์เมตรแรก และเพิ่มเวลา 20 วินาที ต่อปริมาณคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น 1 ลูกบาศก์เมตร เวลาผสมสูงสุดไม่ควรเกิน 5 นาที ดังแสดงในตารางที่ 2

ความจุของเครื่องผสม (ลบ.ม.)	เวลาขั้นต่ำในการผสม (นาที)
1	1.00
1.5	1.25
2.5	1.50
3.0	1.75
4.0	2.00
4.5	2.25

ตารางที่ 2 เวลาขั้นต่ำในการผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา

การลำเลียง

เมื่อผสมคอนกรีตเสร็จเรียบร้อย จำเป็นที่จะต้องทำการลำเลียงคอนกรีตจากเครื่องผสมหรือจากบริเวณที่ผสมไปยังบริเวณที่จะเทลงแบบ การลำเลียงที่ถูกต้องควรทำในลักษณะที่จะให้ได้คอนกรีตที่สม่ำเสมอไม่แยกตัวก่อนเทลงแบบ และต้องมีวิธีป้องกันคอนกรีตจากสภาพแวดล้อมที่จะมีผลเสีย เช่น ความร้อนและความชื้น เป็นต้น

การเลือกวิธีการลำเลียง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

- ปริมาณและอัตราความเร็วในการเทคอนกรีต
- ขนาดและชนิดของงานก่อสร้าง
- ลักษณะภูมิประเทศ, สถานที่ทำงาน, เส้นทางในการขนส่ง
- ค่าใช้จ่าย อันได้แก่ ค่าแรงงาน, ราคาค่าเครื่องจักร

วิธีการลำเลียงที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน มีดังนี้ การใช้รถเข็น, รถดัมพ์, รถคอนกรีตผสมเสร็จ, สายพาน และคอนกรีตปั๊ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.) ที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับเดียวกับบริเวณที่ต้องการจะเทคอนกรีต

- โดยการใช้รถเข็น เมื่อเข็นไปถึงที่ก่อสร้างแล้วควรจะเทใส่กะบะแล้วคลุกเคล้าอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำไปเทแต่ถ้าระยะทางสั้น ๆ ไม่จำเป็นต้องทำการคลุกเคล้าอีกสำหรับพื้นที่ ๆ ไม่มีการเสริมเหล็กจำนวนมากและยุ่งยากก็จัดการเทลงไปในแบบได้เลย
- โดยการใช้รถคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งเหมาะกับงานก่อสร้างที่รถผสมคอนกรีตสามารถเข้าเทได้ถึงหน่วยงาน

2.) ที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับสูงกว่าบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต

สำหรับงานก่อสร้างบางชนิด จำเป็นจะต้องตั้งเครื่องผสมคอนกรีตไว้สูงกว่างานที่ต้องการเทคอนกรีต วิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขนคอนกรีต มักจะใช้รางลำเลียงอาจเป็นรางเหล็ก หรือไม้ก็ได้ สิ่งที่ต้องระวังสำหรับการขนคอนกรีตด้วยวิธีนี้ก็คือ ส่วนผสมของคอนกรีตจะต้องไม่แห้งหรือเหลวเกินไป จะต้องเหลวพอดีที่จะไหลในรางได้ง่าย และไม่เกิดการแยกตัว และคอนกรีตสามารถที่จะไหลลงไปในที่ ๆ ต้องการอย่างสม่ำเสมอได้

รูปที่ 4 การลำเลียงคอนกรีตโดยใช้ราง

3.) ที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับต่ำกว่าบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต

- โดยการใช้รอกเข้าช่วยงานก่อสร้างอาคารหลาย ๆ ชั้น ไม่สามารถนำเครื่องผสมคอนกรีตขึ้นไปผสมแต่ละชั้นได้ จำเป็นจะต้องผสมชั้นล่างแล้วใช้เชือกดึงถึงเหล็กที่มีคอนกรีตอยู่เต็มขึ้นไป ข้อควรระวังในการใช้วิธีใช้รอกนี้นั่งร้านที่รับรอกต้องแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักคอนกรีตในถัง และการดึงเชือกได้
- โดยการใช้คนยืนเรียงแถว โดยใช้วิธีการส่งถังเหล็กที่บรรจุคอนกรีตขึ้นไปเป็นช่วง ๆ จากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่ง
- อาจใช้ลิฟท์ ทาวเวอร์เครน หรือรถเครน เป็นต้น

รูปที่ 5 การลำเลียงคอนกรีตโดยใช้เครน

4.) ที่ผสมคอนกรีตอยู่ห่างจากบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต

ปัจจุบันสถานที่ก่อสร้างมีจำกัดไม่สามารถผสมคอนกรีต ณ หน่วยงานก่อสร้างได้ เป็นต้องใช้คอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งมีโรงงานที่ใช้ในการผสมคอนกรีตอยู่นอกหน่วยงานก่อสร้าง แล้วลำเลียงโดยรถผสมคอนกรีตสู่บริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต วิธีการปฏิบัติคือ คอนกรีตจะถูกผสมเสร็จเรียบร้อยจากโรงงานลำเลียงใส่รถ และจัดส่งไปที่หน่วยงานก่อสร้าง เมื่อถึงที่ก่อสร้างก็จะทำการผสมอีกครั้งก่อนเทลงแบบ หรือภาชนะที่รองรับ

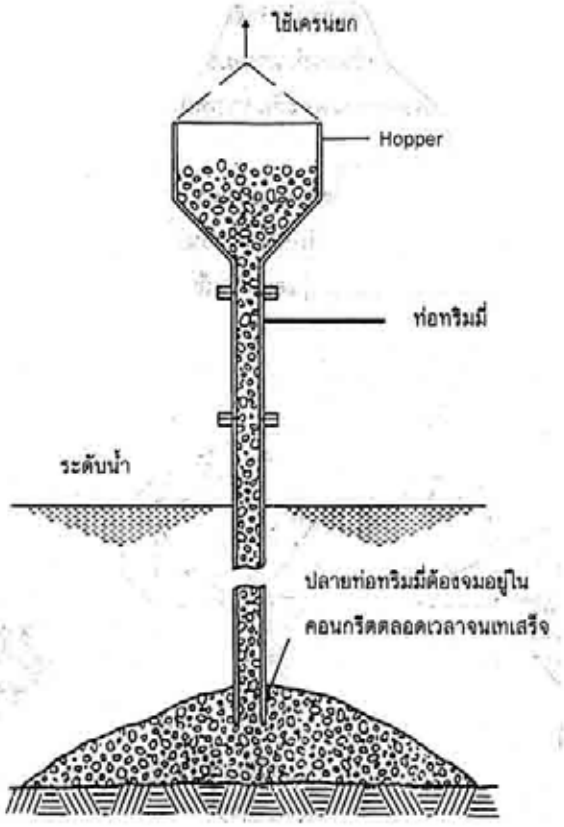
5.) การใช้คอนกรีตปั๊ม เหมาะสำหรับงานขนาดใหญ่ และต้องใช้ปริมาณของคอนกรีตเป็นจำนวนมาก และสถานที่ทำงานจำกัดโดยการต่อท่อส่ง ซึ่งท่อส่งนี้จะเลี้ยวหรือโค้งได้ตามต้องการ สำหรับระยะทางที่จะปั๊มคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องปั๊ม

รูปที่ 6 การลำเลียงคอนกรีตโดยใช้คอนกรีตปั๊ม

6.) การใช้สายพานส่งคอนกรีต การใช้วิธีนี้สามารถใช้ได้ผลดีทั้งระดับที่อยู่ต่ำและสูงกว่าหรือระดับราบการแยกตัวของมวลรวมมีไม่มาก เพราะทุกจุดจะเคลื่อนไปพร้อมกันบนสายพาน สำหรับการส่งคอนกรีตด้วยวิธีนี้ต้องหาทางระวังการสูญเสียของน้ำ เนื่องจากแสงแดด และลม

7.) การใช้ท่ออัดส่งหรือฉีด (Shortcrete) สำหรับวิธีนี้เหมาะกับงานทำท่ออุโมงค์ ห้องใต้ดิน โครงสร้างเปลือกบาง หรือโครงสร้างที่มีส่วนโค้งเว้ามาก ๆ โดยใช้เครื่องฉีด หรือพ่นคอนกรีตทีละน้อยสู่บริเวณที่ต้องการจากนั้นต้องทำการตบแต่งผนังคอนกรีตอีกครั้ง

8.) การเทคอนกรีตในน้ำ (Underwater Concreting) ใช้ในงานก่อสร้างท่าเรือ หรือเขื่อน หรือรากฐานก่อสร้างในทะเล หรือแม่น้ำ ซึ่งต้องทำอย่างระมัดระวังเพื่อมิให้คอนกรีตแยกตัวก็ต้องใช้วิธีเทคอนกรีตลงไปตามท่อ หรือส่งคอนกรีตลงไปยังที่ก่อสร้างนั้นอย่างช้า ๆ



รูปที่ 7 การเทคอนกรีตในน้ำ

การเทและการอัดแน่น

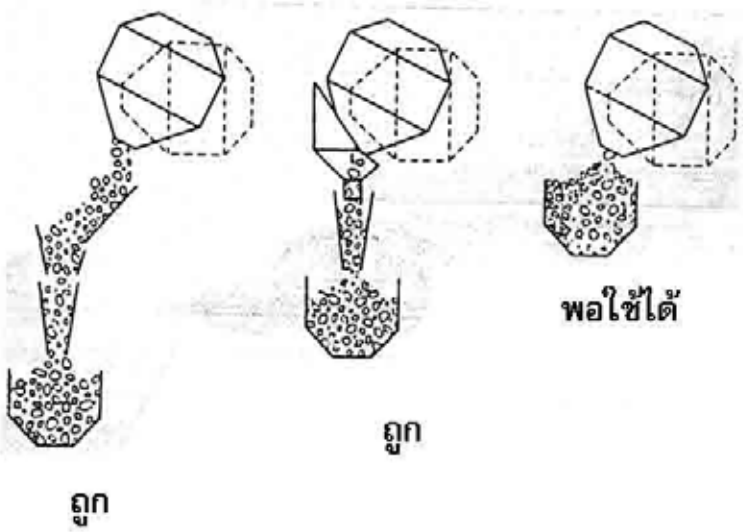
การเทและการอัดแน่นคอนกรีตที่ถูกวิธี จะเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในขบวนการผลิตคอนกรีต อันรวมตั้งแต่การชั่งตวงส่วนผสม, การผสม, การลำเลียง และการบ่มคอนกรีต ความสำเร็จของการเท และการอัดแน่นจะเกิดได้เฉพาะหน่วยงานก่อสร้างที่มีการวางแผน และการเตรียมงานที่ดีเท่านั้น เนื่องจากวิธีการทั้งสองดำเนินไปพร้อม ๆ กัน และเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น ควรถือว่าการเทและการอัดแน่นเป็นขั้นตอนเดียวเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามในที่นี้เราจะแยกพิจารณาเพื่อให้เกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

- **การเทคอนกรีต**

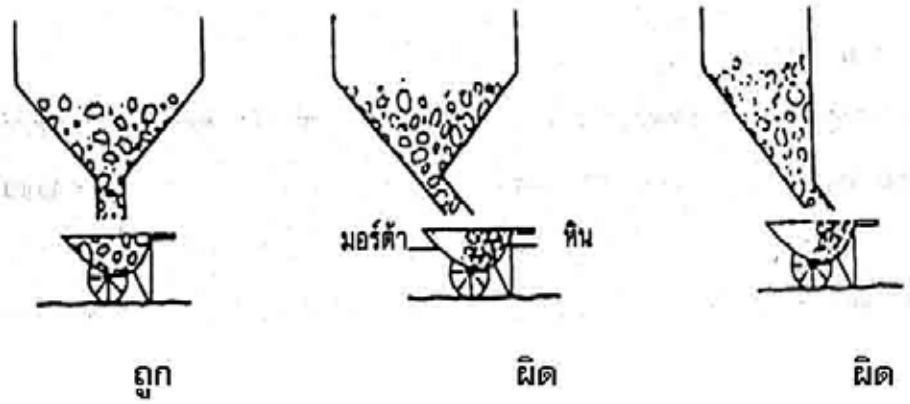
วัตถุประสงค์หลักของการเทคอนกรีต คือ การนำคอนกรีตไปให้ใกล้จุดที่ต้องการจะเทมากที่สุด โดยต้องทำอย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการแยกตัวและคอนกรีตสามารถถูกอัดแน่นได้อย่างเต็มที่วิธีการเทคอนกรีตที่ถูก และไม่ถูกแสดงดังในรูปที่ 8 ถึงรูปที่ 14

การลำเลียงคอนกรีตอาจทำได้หลายวิธี ตั้งแต่การใช้รถเข็น Drumper, รถผสมคอนกรีต หรือใช้ปั๊มโดยต้องการเทให้ตรงตามจุดที่ต้องการมากที่สุด แต่ในหลายกรณีไม่สามารถทำได้เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ข้างต้น ข้อเสนอแนะเหล่านี้ควรระลึกไว้เสมอ

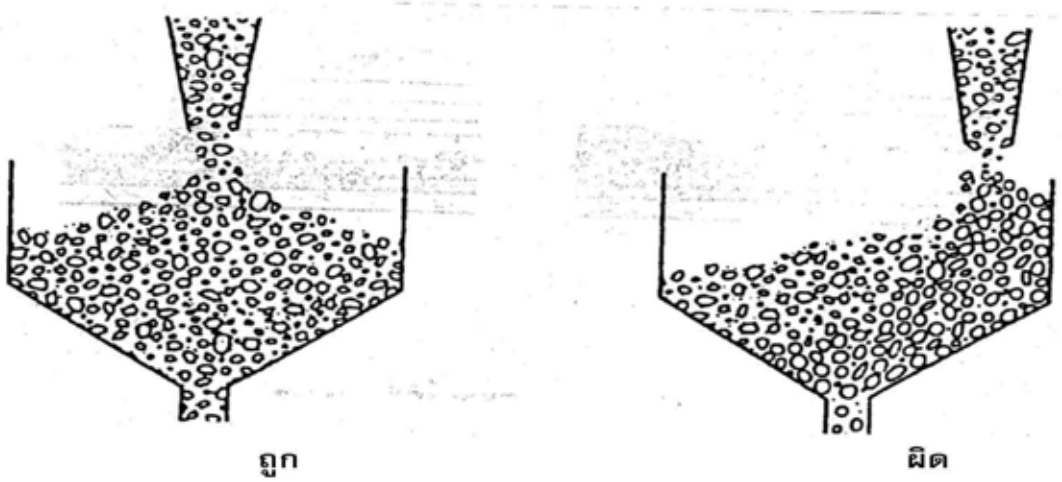
- หลีกเลี่ยงการใช้มือดันหรือใช้หัวจี้ดันคอนกรีตให้เคลื่อนที่
- ควรเทคอนกรีตให้เป็นชั้นที่สม่ำเสมอไม่ใช่กองเป็นภูเขา หรือเป็นชั้นตามแนวเอียง
- ความหนาของการเทแต่ละชั้นควรเหมาะสมกับวิธีการจี้ เพื่อให้มั่นใจว่าฟองอากาศหนีออกจากด้านล่างของชั้นนั้น ๆ ได้
- อัตราการเทคอนกรีตลงแบบ และอัตราการเยาเข้าแบบควรเท่ากัน
- โครงสร้างที่สามารถเห็นได้ชัดเจน เช่น เสา, กำแพงของสะพาน หรือทางยกระดับ ควรเทคอนกรีตเข้าแบบด้วยอัตราอย่างน้อย 2 เมตร/ชั่วโมง และหลีกเลี่ยงการล่าช้าอันจะทำให้เกิด Cold Joint



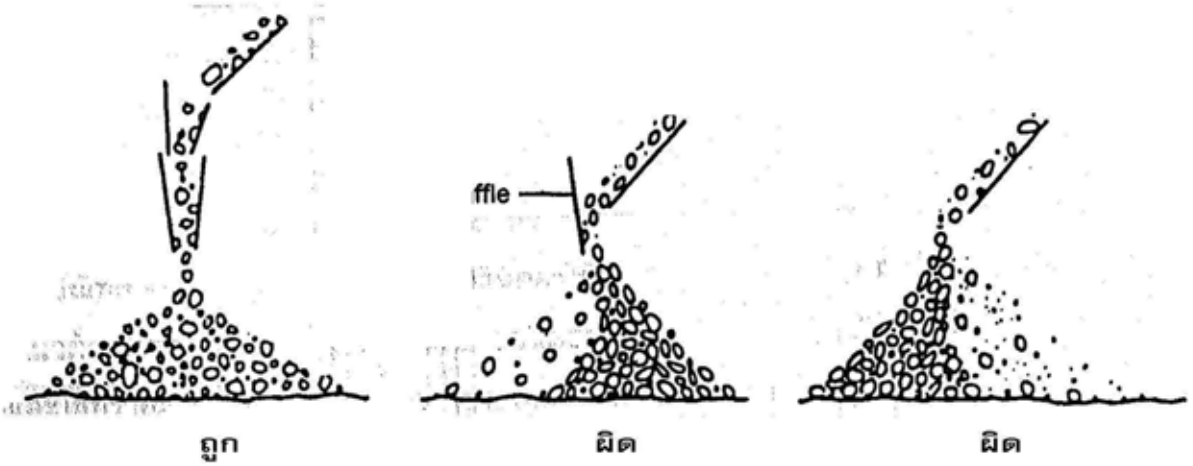
รูปที่ 8 การป้องกันการแยกตัวจากการเทคอนกรีตออกจากเครื่องผสม



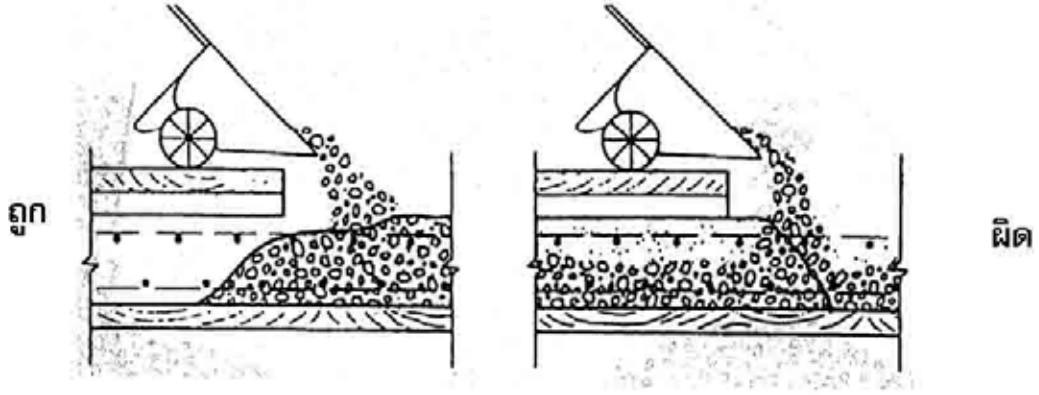
รูปที่ 9 การป้องกันการแยกตัวจากการเทคอนกรีตออกจาก Hopper



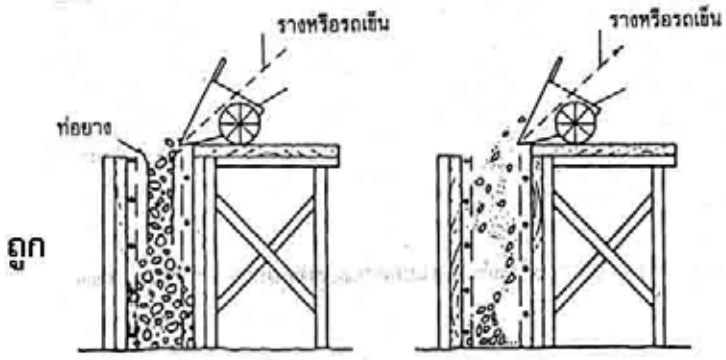
รูปที่ 10 การป้องกันการแยกตัวเมื่อเทคอนกรีตลงภาชนะ (Bucket)

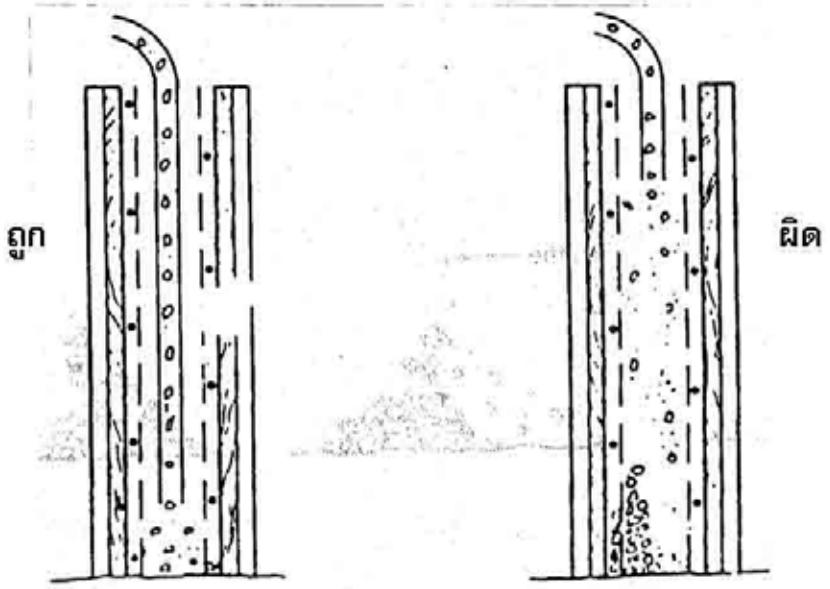


รูปที่ 11 การป้องกันการแยกตัวบริเวณปลายราง

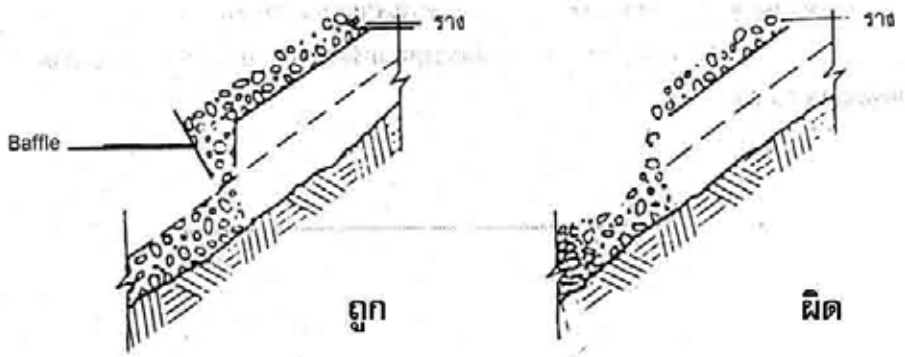


รูปที่ 12 การเทคอนกรีตจากรถเข็น





รูปที่ 13 การเทคอนกรีตสำหรับเสาหรือกำแพง



รูปที่ 14 การเทคอนกรีตพื้นเอียง

- คอนกรีตในแต่ละชั้น ควรจะได้รับการจี้ให้อัดแน่นก่อนที่จะเทคอนกรีตชั้นต่อ ๆ ไป และควรเทในขณะที่คอนกรีตชั้นล่างยังเหลวอยู่เพื่อจะได้โครงสร้างที่มีเนื้อเดียวกัน
- การเทคอนกรีตต้องระมัดระวังอย่าให้ไปปะทะไม้แบบ หรือเหล็กเสริม สำหรับโครงสร้างที่มีความสูงควรต่อท่อคอนกรีต (Tremie) เพื่อให้มั่นใจว่าเทคอนกรีตได้ถูกตำแหน่งที่ต้องการและลดการแยกตัว
- ควรเทคอนกรีตในแนวตั้งฉากกับแกนของโครงสร้าง

งานคอนกรีตในปัจจุบันมีวิธีการเทที่ใช้เทคนิคพิเศษ เช่น Slip-forming, Tremie Method, Shotcreting, Preplaced Aggregate หรือ Roller Compacted Concrete ซึ่งรายละเอียดบางเรื่องอยู่ในส่วนของเรื่องงานคอนกรีตพิเศษต่าง ๆ ที่นิยมใช้กันก็คือ

- Slip-Forming เป็นวิธีการเทคอนกรีตและการเขย่าแบบอย่างต่อเนื่อง โดยใช้คอนกรีตที่มีความสามารถเทได้ต่ำ ซึ่งต้องมีการควบคุมคุณสมบัติอย่างดี วิธีนี้สามารถเทคอนกรีตได้ทั้งในแนวตั้ง และแนวนอน Slip-forming ในแนวตั้งจะเคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ รอให้คอนกรีตมีกำลังเพียงพอเพื่อรองรับคอนกรีตใหม่ที่เทลงอย่างต่อเนื่อง

- Tremie Method เหมาะสำหรับเทคอนกรีตในที่ลึกๆ ที่การอัดแน่นโดยวิธีทั่วไปทำไม่ได้ และในกรณีที่เทคอนกรีตในน้ำ การเทโดยวิธีนี้ต้องใช้คอนกรีตที่มีความสามารถเทได้สูง ไหลลงผ่านท่อด้วยแรงดึงดูดไปในแนวตั้งของท่อซึ่งจะดึงขึ้นทีละเล็กน้อย ส่วนผสมควรจะมีการเกาะยึดกันดีไม่แยกตัว โดยทั่วไปใช้ปริมาณซีเมนต์ที่สูงและใช้ทรายมากรวมทั้งมีการใช้น้ำยาช่วยเพิ่มความสามารถเทได้ด้วย

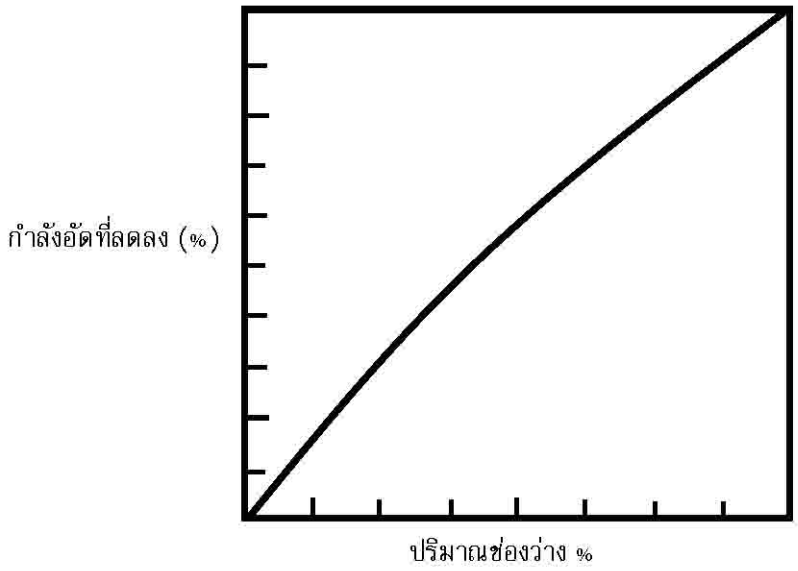
- **การอัดแน่น**

วัตถุประสงค์ของการอัดแน่นก็เพื่อที่จะไล่อากาศ (Entrapped Air) ออกจากส่วนผสมคอนกรีตให้มากที่สุด เท่าที่จะทำได้ และบังคับให้ส่วนผสมต่างๆ เข้าใกล้กันเพื่อจะได้คอนกรีตที่แข็งตัวที่มีช่องว่างน้อยที่สุด

ปริมาณของ Entrapped Air จะสัมพันธ์โดยตรงต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีต ตัวอย่างเช่น คอนกรีตที่มีค่ายุบตัว 7.5 เซนติเมตร จะมีอากาศอยู่ประมาณ 5% ในขณะที่คอนกรีตที่มีค่ายุบตัว 2.5 เซนติเมตร จะมีอากาศอยู่ถึง 20% นั่นคือเหตุผลที่จะต้องทำการอัดแน่นอย่างดี สำหรับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวน้อย

เหตุผลที่สำคัญในการที่จะต้องขจัดฟองอากาศออกไปจากคอนกรีต คือ

1) ช่องว่าง (Void) จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงโดยทุกๆ 1% ของอากาศ (Entrapped Air) จะทำให้กำลังอัดลดลง 5.6 %



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดที่ลดลงกับช่องว่างในเนื้อคอนกรีต

2) ช่องว่างจะเพิ่มความสามารถซึมผ่านได้ของน้ำ (Premeability) ซึ่งส่งผลให้ความทนทานลดลง

3) ช่องว่างที่อยู่ใต้เหล็กเสริมจะลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับมอร์ต้า

4) ช่องว่างทำให้ผิวคอนกรีตดูไม่สวยงามหรืออาจก่อให้เกิดรูโพรง (Honeycombing)

สรุป คอนกรีตที่อัดแน่นอย่างสมบูรณ์จะมีเนื้อแน่นมีความแข็งแรง ทนทาน และป้องกันการซึมผ่านของน้ำสู่คอนกรีต ส่วนคอนกรีตที่อัดแน่นไม่ดีจะไม่แข็งแรงทนทานเกิดรูโพรง และมีความพรุนมาก

- **เครื่องสะเทือนคอนกรีต**

เครื่องสะเทือนคอนกรีต อาจแบ่งตามการใช้งานได้ 3 ประเภท คือ

1) สายจี้ (Internal Vibrators)

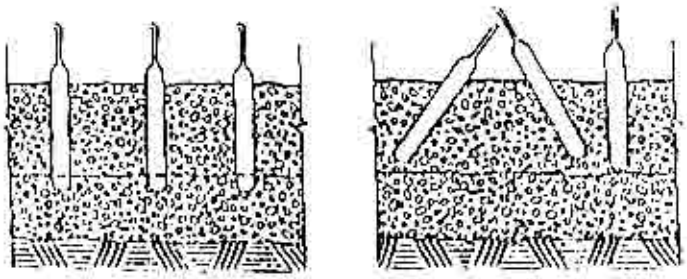
เป็นเครื่องมือที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ประกอบด้วยหัวจี้ (Poker) ซึ่งต่อสายมาจากมอเตอร์ วิธีใช้จะจุ่มหัวจี้ลงในคอนกรีตที่เหลวโดยหัวจี้จะปล่อยคลื่นความถี่ที่เหมาะสมลงไปบางที่เรียกเครื่องสะเทือนแบบนี้ว่า Poker Vibrator หรือ Immersion Vibrator

ความถี่ที่ใช้ทั่วไป คือ 70-200 HZ อุปกรณ์นี้ควรจะง่ายต่อการเคลื่อนย้าย เพื่อที่ว่าคอนกรีตจะได้ถูกเขย่าทุกๆ 0.5-1 เมตร ในเวลา 5 วินาที – 2 นาที ขึ้นอยู่กับความข้นเหลวของส่วนผสมการพิจารณาว่าคอนกรีตอัดแน่นสมบูรณ์ทำได้โดยดูจากผิวหน้าของคอนกรีต ซึ่งจะต้องไม่เป็นรูพรุนและต้องไม่มีมอร์ต้ามากเกินไป

การใช้เครื่องสะเทือนคอนกรีตอย่างถูกต้อง

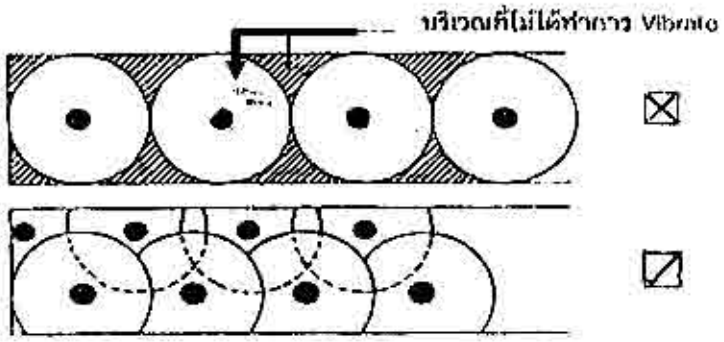
วิธีการ

1) ต้องจุ่มหัวจี้ลงไปตลอดความลึกของคอนกรีตสด และจี้ไปถึงชั้นล่างด้วย ถ้าคอนกรีตในชั้นล่างยังเหลวอยู่



รูปที่ 16 การใช้หัวจี้

2) การจี้ต้องให้ทั่วบริเวณคอนกรีต โดยต้องกำหนดระยะการจี้ที่ถูกต้องเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการอัดแน่น



รูปที่ 17 การจี้คอนกรีต

3) เมื่อจี้เสร็จแล้ว ควรดึงหัวจี้ขึ้นอย่างช้า เพื่อให้ช่องเปิดที่เกิดจากหัวจี้ปิดตัวเองได้สนิท ไม่มีฟองอากาศยังอยู่

ตารางที่ 3 สรุปขนาดที่เหมาะสมของหัวจี้ (Poker) สำหรับงานแต่ละประเภท

ขนาดของหัวจี้ (มม.)	รัศมีทำการ (มม.)	อัตราการเทลบ.ม./ชั่วโมง	การใช้งาน
20-30	80-150	0.8-2	โครงสร้างบาง ๆ หรือในที่ ๆ ทำงานยากที่ใช้คอนกรีต ที่มีค่ายุบตัวมากกว่า 5 ซม. ในบางครั้งจะใช้ร่วมกับเครื่องเขย่าแบบ ในบริเวณที่มีเหล็กเสริม, ท่อ หรืออุปสรรคต่อการอัดแน่น
35-40	130-250	2-4	สำหรับ เสากำแพง ที่ใช้คอนกรีตที่มีค่ายุบตัวมากกว่า 5 ซม.
50-75	180-350	3-8	โครงสร้างขนาดใหญ่ที่มีเหล็กเสริมไม่มากนักที่ใช้คอนกรีตที่มีค่ายุบตัวตั้งแต่ 2.5 ซม. ขึ้นไป

2) เครื่องเขย่าแบบ (External Vibrators)

เครื่องเขย่าแบบนี้ติดอยู่กับไม้แบบ ซึ่งวางอยู่บนจุดวางที่ยืดหยุ่นได้ ดังนั้นทั้งแบบหล่อและคอนกรีตจะถูกเขย่าไปพร้อม ๆ กัน ผลคือ คอนกรีตจะถูกอัดแน่นโดยการเขย่าของไม้แบบซึ่งไม้แบบประเภทนี้จะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงไม่บิดงอหรือมีการรั่วไหลของน้ำปูน

เครื่องเขย่าประเภทนี้จะใช้ความถี่ในช่วง 50-150 HZ ส่วนมากมักใช้งานคอนกรีตอัดแรงหรือโครงสร้างขนาดบางที่มีรูปร่างและความหนาไม่เหมาะสมที่จะใช้ Internal vibrator

การทำงานต้องเทคอนกรีตใส่แบบเป็นชั้นบาง ๆ เนื่องจากฟองอากาศไม่สามารถถูกขับออกจากคอนกรีตที่มีความหนามาก ๆ ได้ และตำแหน่งของเครื่องเขย่าแบบอาจเปลี่ยนแปลงได้ในขณะเทคอนกรีต

3) โต๊ะเขย่า (Vibrating Table)

เป็นวิธีการเขย่าที่เหมาะสมสำหรับงานชั้นล่างคอนกรีตอัดแรงโดยมีประโยชน์ในแง่ที่การเขย่าทำได้อย่างสม่ำเสมอ วิธีการนี้อาจพิจารณาได้เหมือนกับกล่องหรือไม้แบบยึดติดกับเครื่องเขย่าแบบซึ่งตรงข้ามกับ External Vibrators แต่หลักการในการเขย่าคอนกรีตและไม้แบบไปพร้อมๆ กันเหมือนกันความถี่ที่ใช้อยู่ในช่วง 25-120 HZ

ภาคผนวก – จ

แบบหล่อคอนกรีตงานสะพาน

แบบหล่อคอนกรีตงานสะพาน

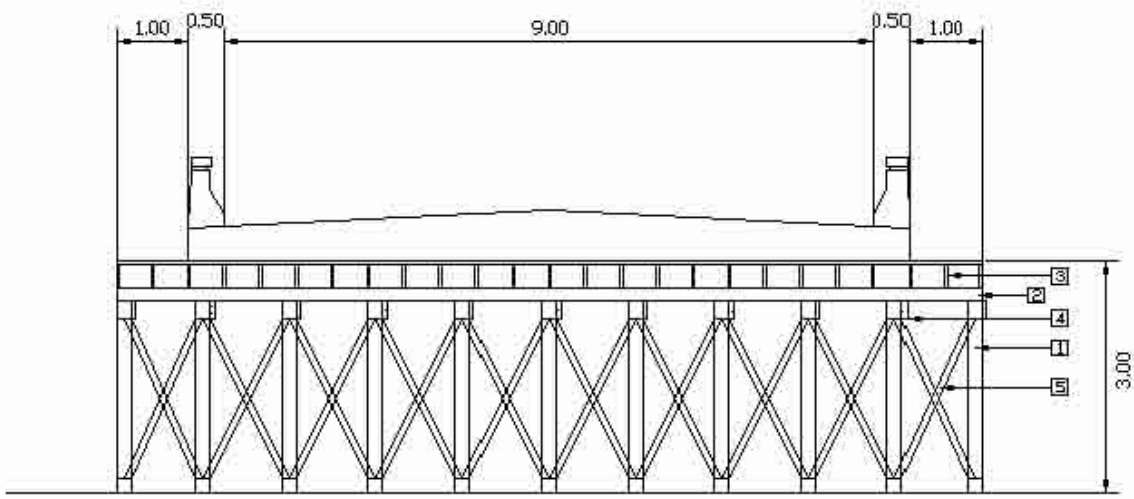
การก่อสร้างสะพานในปัจจุบันมีแตกต่างกันหลายระบบทั้งนี้อยู่กับช่วงความยาวและสภาพภูมิประเทศในบริเวณที่จะทำการก่อสร้าง ช่วงยาวของสะพานได้เพิ่มมากขึ้น ๆ ตามความเจริญทางเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในการออกแบบและการก่อสร้าง การใช้แบบหล่อคอนกรีตจึงต้องพัฒนาไปตามเทคนิคการก่อสร้าง เพื่อให้การก่อสร้างเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดและให้ความมั่นคงแข็งแรงทางโครงสร้างตลอดระยะการใช้งานอันยาวนาน การที่จะใช้แบบหล่อกับที่โดยการวางค้ำยันจากพื้นดินหรือท้องลำธารเบื้องล่างต่อขึ้นไปสูง ๆ เพื่อรับท้องแบบคานและพื้นสะพานดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นการไม่ประหยัดและสิ้นเปลืองมากอีกทั้งอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการทรุดตัวของพื้นรองรับเนื่องจากฝนหรือกระแสน้ำนำไปสู่การวิบัติได้ การทดแทนแบบหล่อกับที่ในลักษณะดังกล่าวจึงได้เริ่มขยายตัวพัฒนาเรื่อยไปอย่างไม่หยุดยั้ง ในที่นี้จะได้กล่าวเฉพาะระบบที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั่ว ๆ ไปตามความเหมาะสมเฉพาะแห่ง เช่น แบบหล่อในที่พื้นสะพานในระบบตงเหล็ก พื้นสะพานในระบบตงคอนกรีตสำเร็จรูปแบบหล่อสะพานระบบก่อสร้างปลายยื่น แบบหล่อสะพานดันเข้าที่ และแบบหล่อสะพานระบบหล่อทีละชิ้น

รูปที่ 1 การก่อสร้างสะพานด้วยการตั้งแบบหล่อในที่

แบบหล่อในที่

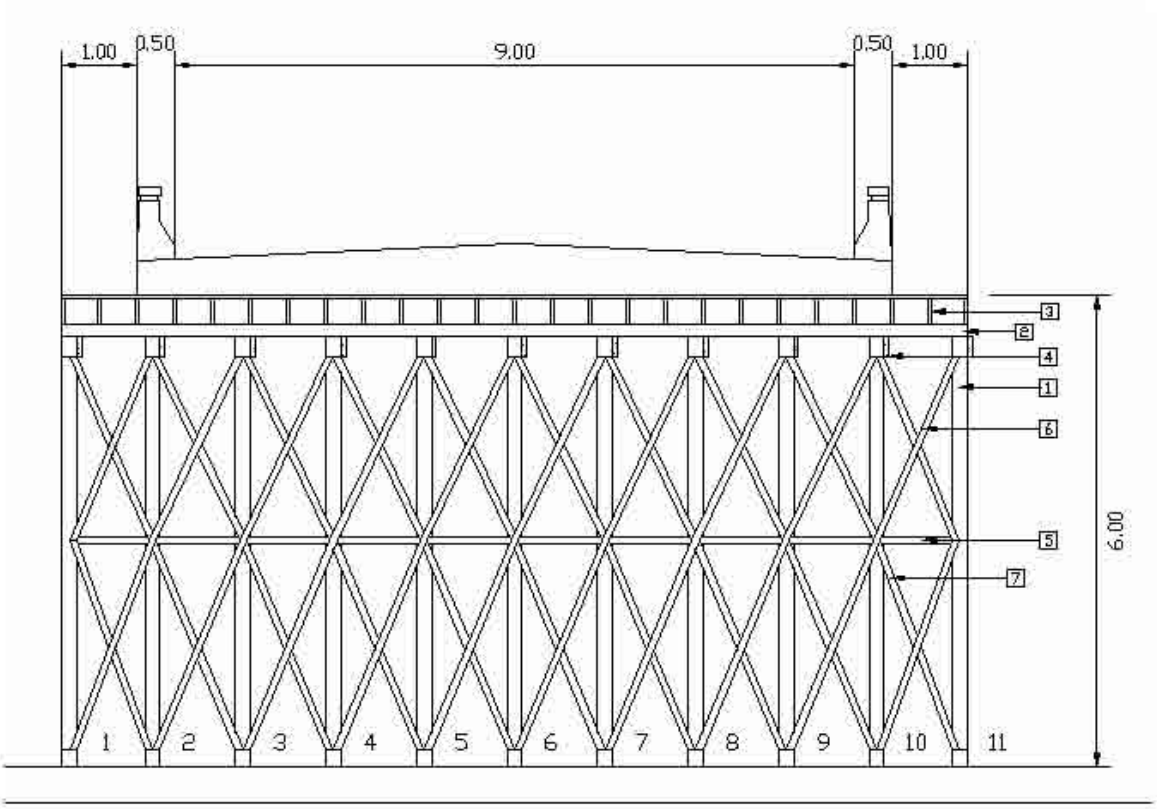
สะพานที่ใช้วิธีการหล่อกับที่ ส่วนมากจะเป็นสะพานช่วงสั้น พื้นสะพานไม่สูงจากระดับพื้นดินมากและมีพื้นดินที่แข็งแรงพอเพียงในการตั้งค้ำยันได้สะพานแบบนี้โดยทั่วไปจะเป็นแบบแผ่นพื้นทางเดียวหรือแบบคานซอยรูปทีวางพาดระหว่างตอม่อตามแนวสะพานซึ่งมีช่วงยาวไม่เกิน 12 เมตร ยกเว้นในกรณีของสะพานรูปโค้งลักษณะของค้ำยันส่วนมากจะไม่ได้วางกับพื้นดินขึ้นมาโดยตรง ทั้งนี้เพราะพื้นที่ส่วนมากขรุขระและมีน้ำไหลผ่าน จึงนิยมตอกเข็มไม้ทำเป็นนั่งร้านเพื่อวางปั้นจั่นตอกเข็ม คาน ตง และท้องแบบคอนกรีตอุปสรรคมักจะเกิดขึ้นในกรณีที่ท้องลำธารเป็นหิน ดินดาน หรือดินกรวดทำให้ตอกเข็มไม้ไม่ได้จึงต้องรอถึงหน้าแล้งมีน้ำน้อย แล้วจึงวางคานค้ำยันกับพื้นขึ้นมารับนั่งร้าน อย่างไรก็ดีจะต้องมีการยึดรั้งและหนุนพื้นตามสภาพพื้นดินเพื่อให้นั่งร้านซึ่งเป็นค้ำยันด้วยมีความแข็งแรงพอเพียงต่อ
การรับน้ำหนักและทนต่อกระแสน้ำที่ไหลผ่าน ในกรณีที่ระดับพื้นสะพานสูงกว่าระดับดินเดิมมาก ๆ อาจมีอุปสรรคเกี่ยวกับเสถียรภาพของเสาค้ำยันหรือเข็มไม้บางครั้งต้องจัดให้ถี่มากขึ้น และมีการยึดรั้งกันหลายทิศทางเพื่อรับแรงทั้งในแนวตั้งและแนวนอน

นั่งร้านควรตอกเสาหรือค้ำยันลงดินในกรณีที่ตอกเสียบไม่ได้ให้ใช้วิธีขุดแล้วฝังหรือใช้สว่านเจาะตามความเหมาะสม แต่ห้ามวางหรือหนุนไว้กับพื้นดินเปล่า ๆ ทั้งนี้เพราะอาจจะหลุดออกได้ โดยเฉพาะถ้ามีกระแสน้ำพัดผ่านขนาดของคานรองซึ่งจะยึดหัวเสาขึ้นอยู่กับระยะของเสา และน้ำหนักคอนกรีตที่จะหล่อ ซึ่งอาจใช้เป็นคานคู่การใช้เสาเหล็กหรือนั่งร้านเหล็กอาจพบอุปสรรคบ้างเกี่ยวกับพื้นดินรองรับมีระดับไม่เสมอกันควรแยกออกเป็น 2 ส่วน ระบบส่วนล่างเป็นเข็มที่ตัดปลายได้อาจจะเป็นไม้หรือเหล็กใช้แล้วเพื่อปรับระดับให้เสมอกันและส่วนบนเป็นระบบค้ำยันหรือนั่งร้านตามปกติธรรมดาที่ใช้กันทั่วไปทั้งนี้โดยใช้คานรูปโอ คานปีกกว้าง (Wide flange) หรือคานไม้ขนาดใหญ่เพื่อถ่ายแรงจากค้ำยันหรือนั่งร้านลงสู่ฐานรากข้างล่าง



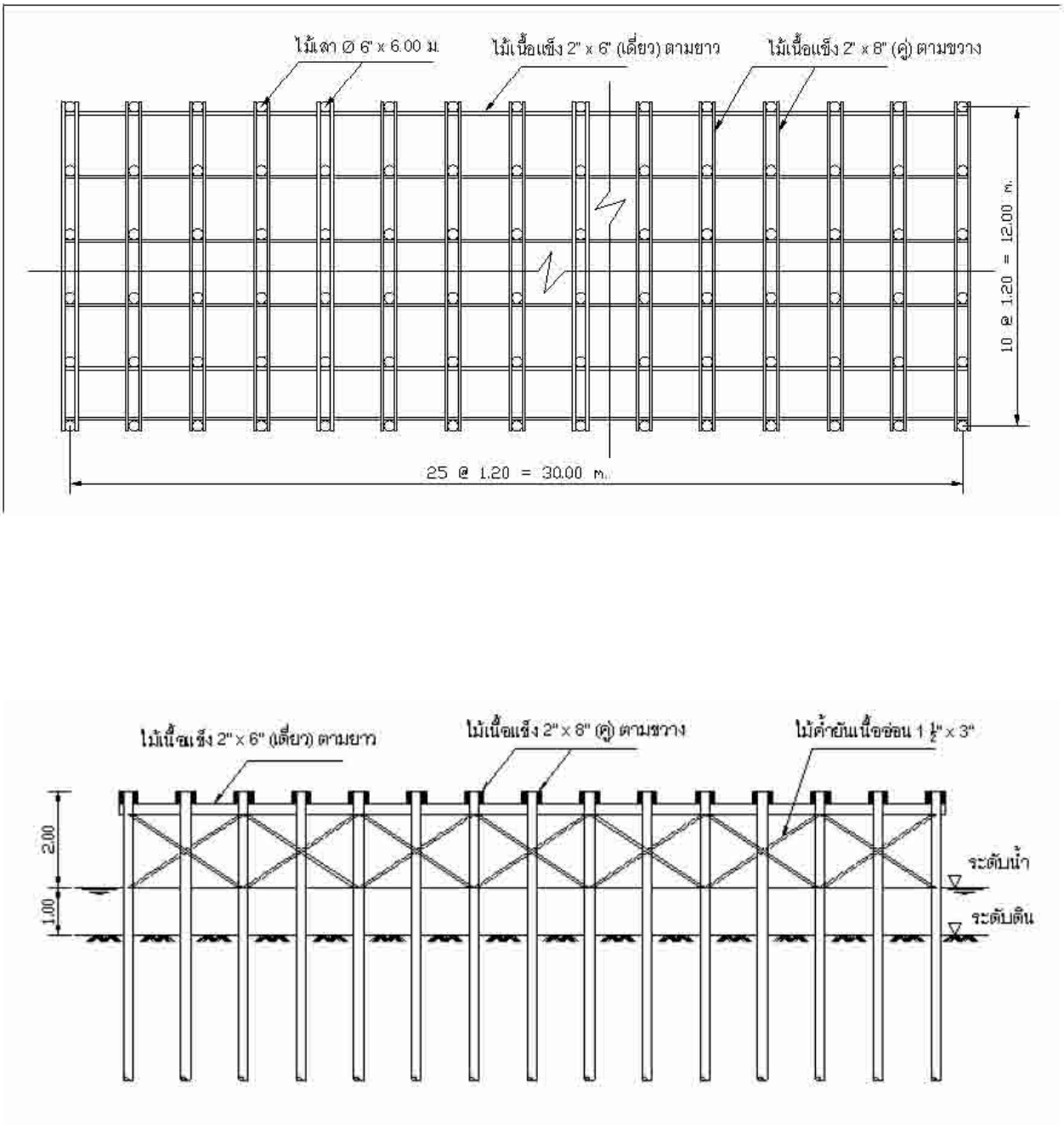
1	เสาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6" x 6.00 m. @ 1.20 m. Max.
2	คานไม้เนื้อแข็ง 2" x 8" คีบคู่
3	ตงไม้เนื้อแข็ง 1-1/2" x 6" @0.50 m.
4	คานรัดคอตามยาวไม้เนื้อแข็ง 1-1/2" x 6" ทุกแถว
5	ไม้ค้ำยันเฉียง 1-1/2" x 3" x 3.50 m. (ไม้เนื้ออ่อน)

รูปที่ 2 ชิ้นส่วนของระบบแบบหล่อในที่ของงานสะพาน



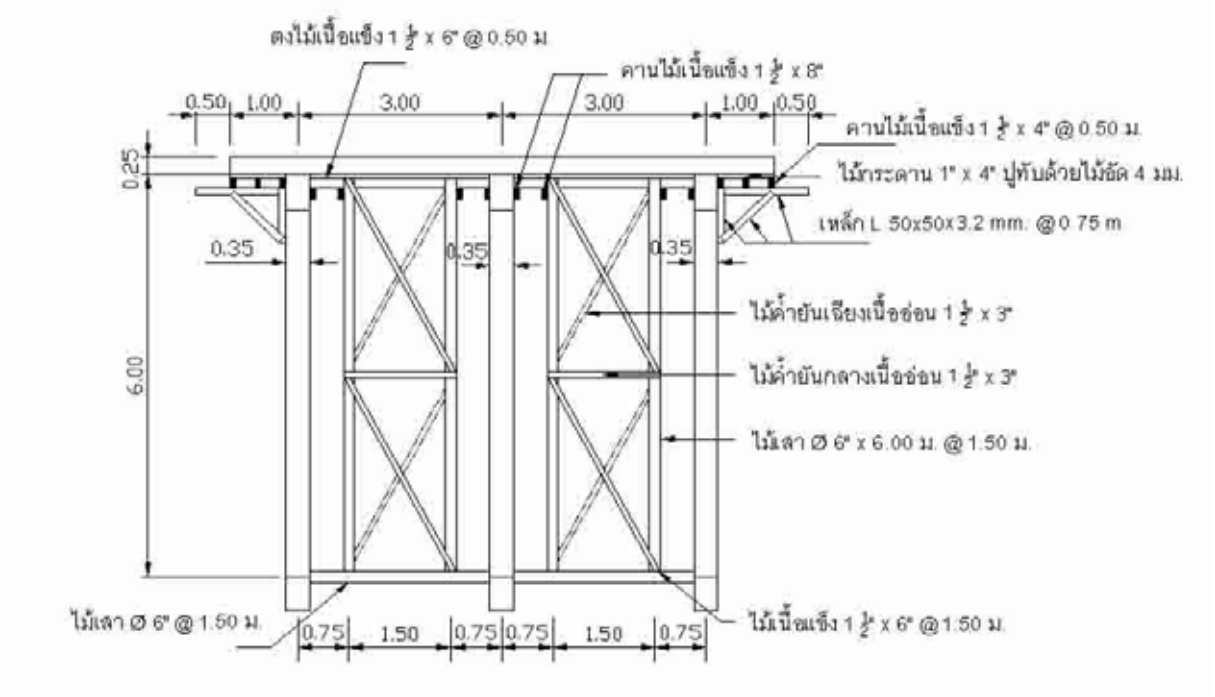
1	เสาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6" x 6.00 m. @1.20 m. Max.
2	คานไม้เนื้อแข็ง 2" x 8" คีบคู่
3	ตงไม้เนื้อแข็ง 1-1/2" x 6" @0.50 m.
4	คานรัดคอตามยาวไม้เนื้อแข็ง 1-1/2" x 6" ทุกแถว
5	ไม้ค้ำยันกลาง 1-1/2" x 3" (ไม้เนื้ออ่อน)
6	ไม้ค้ำยันเฉียง 1-1/2" x 3" x 3.50 m. (ไม้เนื้ออ่อน)
7	ไม้ค้ำยันเฉียง 1-1/2" x 3" x 3.50 m. (ไม้เนื้ออ่อน)

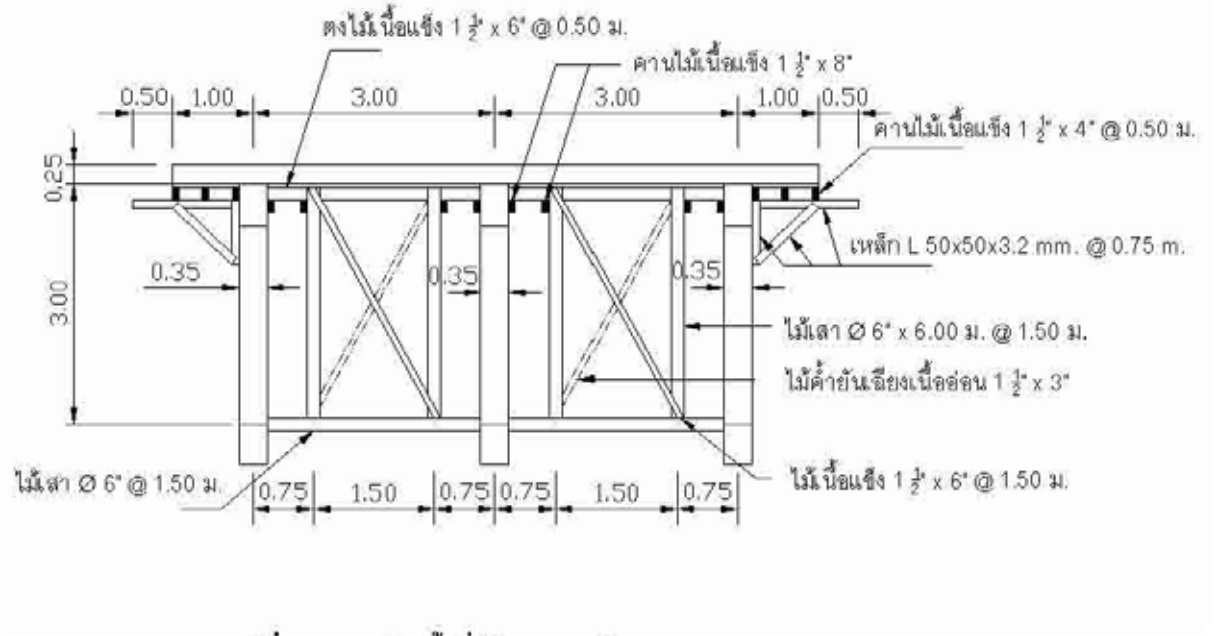
รูปที่ 2 ชิ้นส่วนนั่งร้านของงานสะพานแบบ **Slab Type**



รูปที่ 3 นั่งร้านและระบบค้ำยันของงานสะพานข้ามแม่น้ำ

แบบหล่อ Approach Structure

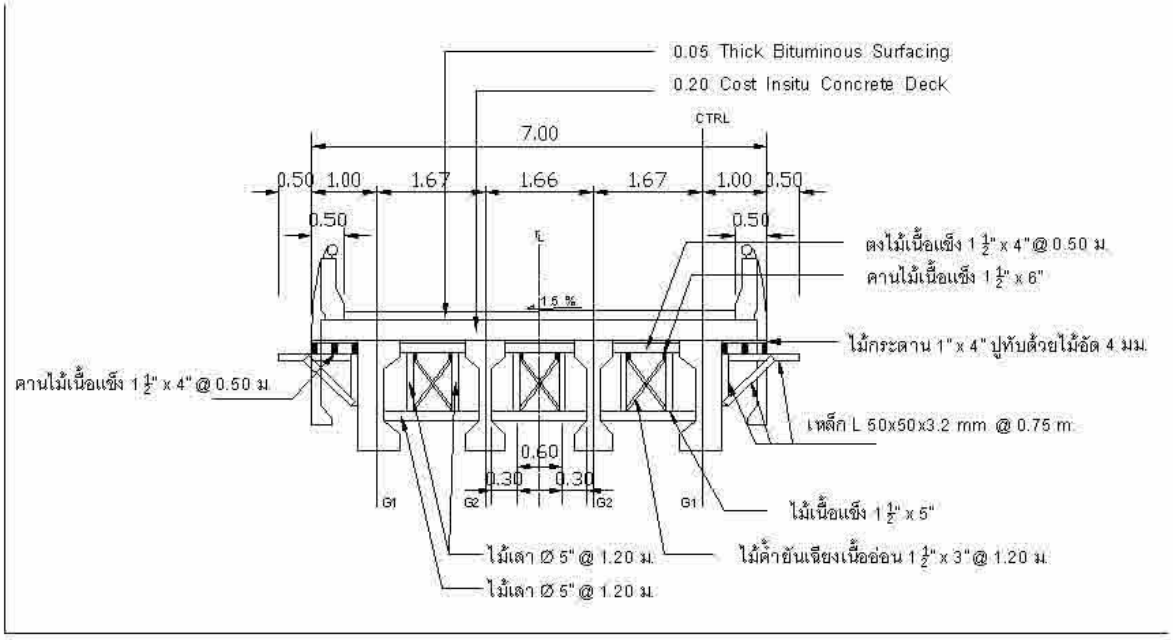




รูปที่ 4 การติดตั้งนั่งร้าน และท้องแบบ งาน **Approach Structure**

แบบหล่อพื้นสะพานโดยใช้ตงเหล็ก

สะพานที่มีตงเป็นเหล็กตัวไอ (I) และตงเหล็กแผ่น (Plate Girder) ผนวกกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กออกแบบไว้เพื่อให้ก่อสร้างได้รวดเร็ว และลดจำนวนแบบหล่อคอนกรีตให้น้อยลง ทั้งนี้โดยพยายามใช้ตงเป็นตัวแบกรับน้ำหนักค้ำยัน โดยไม่ต้องตั้งค้ำยันขึ้นมาจากพื้นดิน คานรับท้องแบบและตงอาจจะวางดังแสดงในรูปที่ 4 ในทางปฏิบัติจะใช้ลิ่มหรือตัวหนุนรองรับตงเพื่อให้สามารถถอดแบบได้ง่ายแล้วจึงวางแผ่นไม้อัด หรือแผ่นเหล็กเพื่อใช้เป็นท้องแบบวางอีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 5 นอกจากนี้ยังมีระบบที่ใช้เชื่อมยึดกับตงเหล็กที่ปีกบนแล้วหิ้วคานรับดังแสดงในรูปที่ 6 ตัวแขวนยึดจะเป็นน็อตเกลียวปล่อยที่มีความยาวสอดคล้องกับขนาดคานและตงรับท้องแบบที่เกลียวปล่อยอาจจะต้องทาจาระบีที่ปลายทุกครั้ง เพื่อสามารถถอดแบบได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ส่วนล่างของปลายตัวแขวนยึดจะเป็นเหล็กแผ่นที่มีความหนาและขนาดแข็งแรงพอที่จะแบกรับน้ำหนักของคานได้



รูปที่ 5 การติดตั้งคานรองรับ และตงรับท้องแบบพื้นสะพาน

ระบบพื้นสะพานที่ใช้เหล็กพับเป็นแบบหล่อ และทิ้งไว้กับที่ทั้งนี้เพื่อประหยัดเวลาในการประกอบแบบพอสมควร แต่เหล็กพับจะต้องมีความสอดคล้องกับระยะห่างระหว่างตงเหล็ก อีกทั้งควรจะมีการชุบสังกะสีกันสนิมหรือฉาบผิวด้วยสีอย่างดี เหล็กแผ่นพับอันนี้บางครั้งอาจใช้เพื่อเป็นแบบหล่อเพียงอย่างเดียว โดยที่จะมีเหล็กเสริมน้ำหนักทางโครงสร้างต่างหาก กรณีคำนวณออกแบบให้แผ่นเหล็กพับรับน้ำหนักด้วย ต้องมีการย้ำผิวให้ขรุขระหรือมีแผ่นคั่นเพื่อป้องกันการแยกตัวจากแรงเฉือนระหว่างแผ่นเหล็กและคอนกรีตในการบรรทุกน้ำหนักที่ปีกของตงเหล็กจะต้องมีเหล็กฉากเชื่อมตลอดแนว เพื่อเป็นบ่าวางแผ่นเหล็กพับและกันน้ำปูนทะลักออกหรือจะวางแผ่นเหล็กพับพาดผ่านตงเหล็กไปเลย ทั้งนี้จะต้องไม่ใช้ผลเกี่ยวกับกำลังเชิงประกอบของตงเหล็กกับพื้นคอนกรีต

แบบหล่อพื้นสะพานตงคอนกรีตสำเร็จรูป

การหล่อพื้นสะพานตงคอนกรีตสำเร็จรูป นิยมใช้ในลักษณะคล้ายกับกรณีของตงเหล็กรูปพรรณแต่อาจจะยุ่งยากกว่าเล็กน้อยเพราะตงคอนกรีตโดยเฉพาะที่เป็นคอนกรีตอัดแรงถ้าไม่ได้ฝังเหล็กเดือยหรือหัวน็อตไว้ก่อนจะทำให้การเชื่อมยึดต่าง ๆ ยุ่งยากกว่าในการก่อสร้างที่ดีจึงต้องมีการวางแผนงานที่ดีและจะต้องเตรียมการไว้ก่อนเสมอหลังจากที่ตงคอนกรีตวางเข้าที่เรียบร้อยแล้ว การที่จะเทพื้นสะพานนิยมก่อสร้างแบบหล่อใน 2 ลักษณะ คือ

1. การจัดแบบหล่อพื้นสะพานในกรณีที่แบบระบุให้ใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูป (Panel) เป็นแบบรองพื้นหลักการสำคัญในแนวทางปฏิบัติมีดังนี้.-

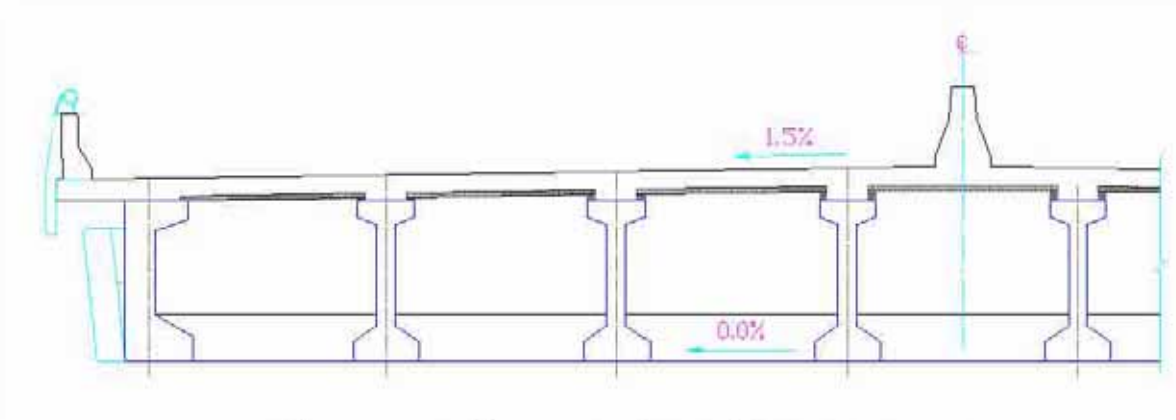
1.1 ตรวจสอบแผ่นพื้นสำเร็จให้ถูกต้องเรียบร้อยไม่มีรอยแตกหัก และต้องมีรายการคำนวณการรับน้ำหนักของ Panel ที่นำมาใช้ สำหรับงานก่อสร้างสะพานในปัจจุบันกำลังรับน้ำหนักของ Panel ที่เป็นแบบหล่อต้องไม่น้อยกว่า 750 Kg/m.^{2} ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ ให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างกำหนด

1.2 ต้องตรวจสอบระดับการติดตั้งโดยให้มีระดับความหนาของพื้นคอนกรีตที่หล่อทับบน Panel คงที่ และเป็นไปตามแบบอาจใช้ Mortar หนุนเสริมใต้ Panel เพื่อให้วางอยู่ในระดับ Grade Line ตลอดซึ่งทำให้ระดับความหนาของพื้นคอนกรีตที่หล่อคงที่ได้

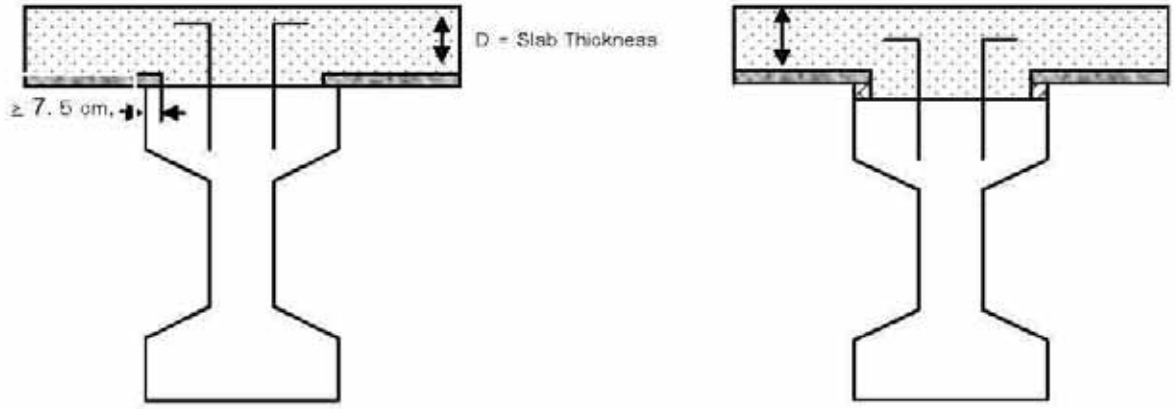
1.3 ตรวจสอบทิศทางและตำแหน่งการวาง Panel ปลายของ Panel จะต้องวางอยู่บนที่รองรับหลังคานโดยให้เกยเข้ามาไม่น้อยกว่า 7.5 cm. และใช้ Mortar ปรับระดับให้ได้ตามแบบและตบแต่งให้เรียบร้อย

1.4 อุดรอยต่อระหว่าง Panel โดยใช้แผ่นพลาสติกกรองที่รอยต่อเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึมแล้วจึงใช้ Mortar อุดปิดทับรอยต่อก่อนที่จะทำการหล่อคานคอนกรีตพื้นสะพานตามแบบต่อไป

การจัดแบบหล่อพื้นสะพานโดยใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูป (Panel) เป็นแบบหล่อแสดงในรูปที่ 6 – รูปที่ 7



รูปที่ 6 แบบหล่อพื้นสะพานโดยใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูป (Panel)



การจัดวาง Panel ช่วงกลาง Span ช่วงที่ต้องใช้ Mortar ทนุนเสริม

รูปที่ 7 แบบหล่อพื้นสะพานโดยใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูป (Panel)

หมายเหตุ : การใช้แบบหล่อพื้นสะพานแบบนี้ถ้าในกรณีที่แบบไม่ได้ระบุให้ใช้ ต้องให้ผู้รับจ้างเสนอแบบ รายละเอียดพร้อมรายการคำนวณให้สำนักสำรวจและออกแบบพิจารณาเห็นชอบก่อน

2. การจัดแบบหล่อพื้นสะพานตงคอนกรีตสำเร็จรูปในลักษณะของคานขวางคู่จะจัดเป็นชุด ๆ ดังแสดงในรูปที่ 10 กล่าวคือ คู่ล่างจะวางบนปีกล่างของคานคอนกรีตอัดแรงแล้วใช้ขาวางพาดบนคานคู่ล่างเพื่อรองรับคานคู่บนซึ่งจะใช้เป็นตงรับแผ่นผิวท้องแบบ พื้นขานี้มีแป้นที่ปลายล่างเพื่อวางบนคานขวางคู่ล่างข้างบนจะมีแป้นเช่นกันเพื่อวางคานคู่บน ซึ่งอาจใช้เป็นตงได้ขาประกอบด้วยท่อสองส่วนสอดกันอยู่และมีน็อตปรับระดับให้ได้ตามความต้องการ และสามารถใช้เพื่อการลดระดับในการถอดแบบอีกด้วย

แบบหล่อสะพานในระบบก่อสร้างแบบปลายยื่น

ในปัจจุบันสะพานได้ขยายความยาวช่วงออกไปมาก สะพานรูปกล่องขนาดใหญ่สามารถทำการก่อสร้างได้ด้วยการก่อสร้างตอม่อ โดยขึ้นรูปแบบที่ตอม่อและค่อยๆ ก่อสร้างยื่นออกไปข้างละเท่าๆ กัน ทั้งสองด้าน (Cantilevered Construction) ดังแสดงในรูปที่ 8, 9 และ 10 การก่อสร้างสะพานรูปกล่องทั่วไปจะหล่อพื้นล่างก่อนจะประกอบแบบข้างล่างและท้องแบบพื้นบนแล้วจึงเทคอนกรีตส่วนเอว (Web) และพื้นบนพร้อมกัน เนื่องจากโครงสร้างยื่นออกมาจากตอม่อ การประกอบแบบหล่อสะพานของส่วนที่ยื่นออกมานี้ จะต้องหิ้วไว้ด้วยโครงเฟรมขนาดใหญ่ซึ่งจะมีรายละเอียดการยึดติดกับพื้นโครงสร้างที่แล้วเสร็จ รายละเอียดการขับเคลื่อนไปข้างหน้าตามความก้าวหน้าของการก่อสร้าง รายละเอียดการแขวนหิ้วท้องแบบข้างแบบและโครงสร้างขณะที่ยังรับน้ำหนักไม่ได้ดังแสดงในรูปที่13 และ 14

รูปที่ 8 แบบหล่อสะพานยื่น

รูปที่ 9 แบบหล่อสะพานยื่น

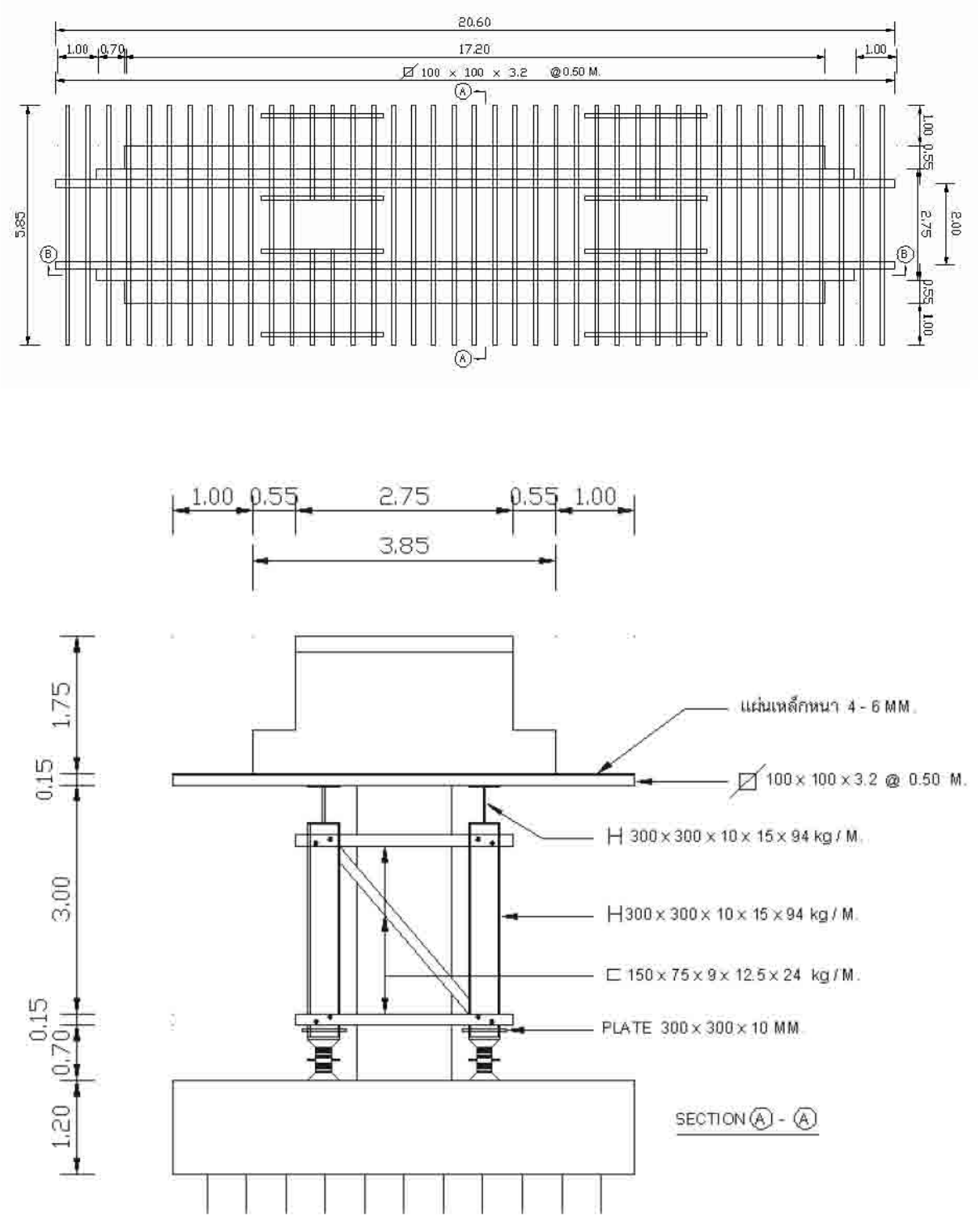
รูปที่ 10 ลักษณะภายในของหน้าตัดรูปกล่อง

รูปที่ 11 แบบหล่อและนั่งร้านทำงาน

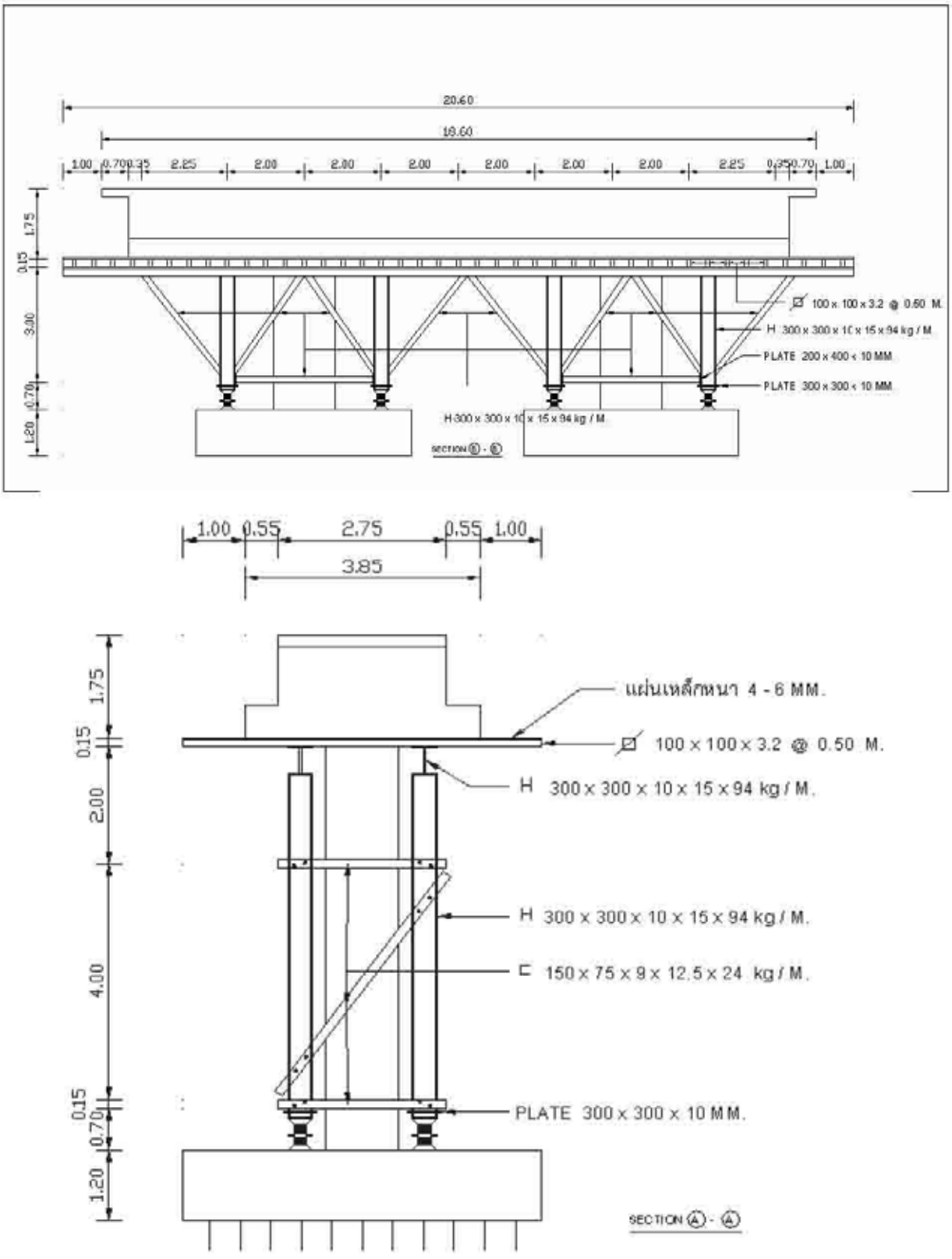
รูปที่ 12 รายละเอียดของโครงยื่นเพื่อรับน้ำหนักส่วนของสะพานยื่น

รูปที่ 13 แบบหล่อสะพานยื่นที่ใช้แบบเหล็ก

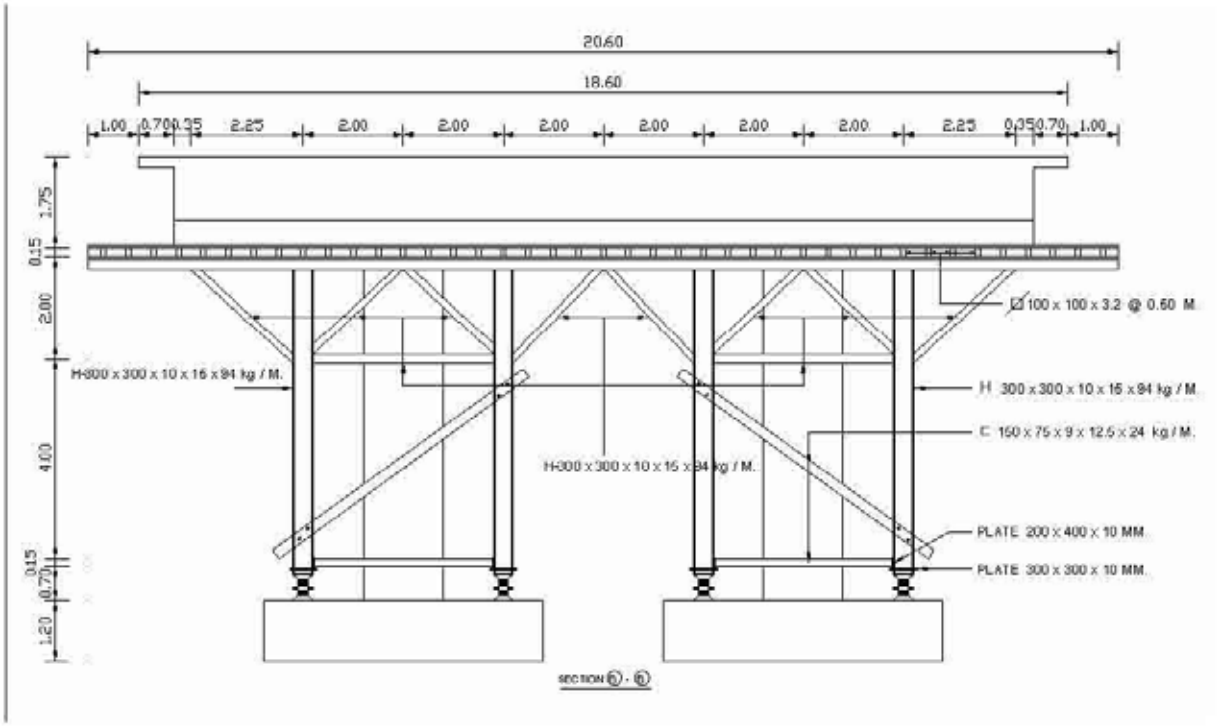
รูปที่ 14 แบบหล่อสะพานยื่นที่ใช้แบบไม้



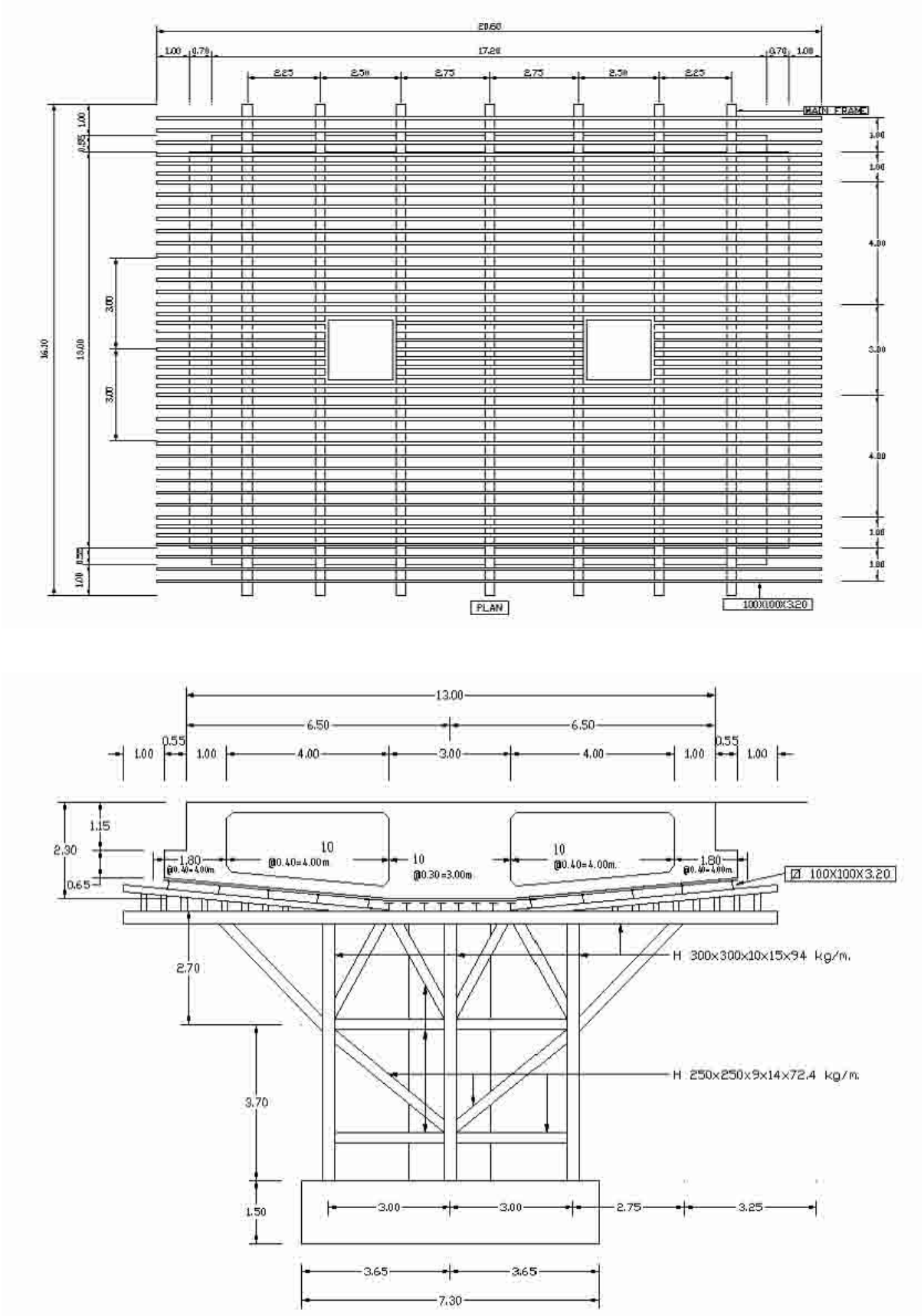
รูปที่ 15-1 การติดตั้งนั่งร้าน และท้องแบบ งาน **Cantilever Deck**



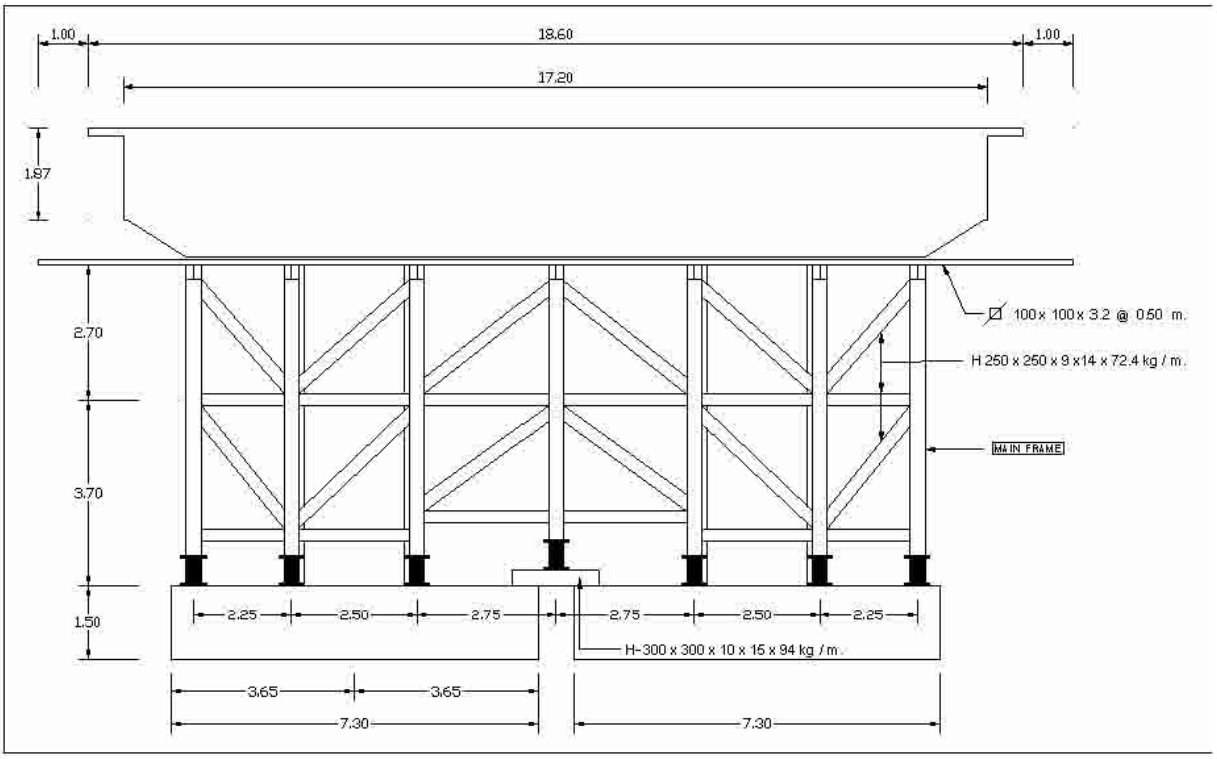
รูปที่ 15-2 การติดตั้งนั่งร้าน และท้องแบบ งาน **Cantilever Deck**



รูปที่ 15-3 การติดตั้งนั่งร้าน และท้องแบบ งาน **Cantilever Deck**



รูปที่ 16-1 การติดตั้งนั่งร้าน และท้องแบบ งาน **Cantilever Deck (Hollow Type)**



รูปที่ 16-2 การติดตั้งนั่งร้าน และท้องแบบ งาน **Cantilever Deck (Hollow Type)**

ค้ำยัน (Shoring)

ค้ำยันสำหรับแบบหล่อคอนกรีต ทำหน้าที่เป็นเสาถ่ายน้ำหนักของแบบหล่อคอนกรีตและส่วนประกอบต่างๆ ลงสู่พื้นล่างที่ยันไว้ อาจใช้ไม้ เหล็กแป๊บ หรือเหล็กรูปพรรณก็ได้ ค้ำยันแบ่งออกได้ 4 ส่วน คือ แป้นขาหยั่ง ตัวเสา ตัวปรับความสูง และแป้นรองรับ ปัญหาของค้ำยัน คือเรื่อง การบิดเบี้ยว, คดงอ (Buckling) เพราะทำหน้าที่เสมือนเสาซึ่งเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างรับน้ำหนัก ดังนั้น จึงต้องมีการยึดรั้งเพื่อป้องกันการดุ้งที่บริเวณกึ่งกลางความสูงหรือระหว่างช่วงความสูงของค้ำยันนั้น ในกรณีที่ใช้ค้ำยันหรือนั่งร้านเหล็กต้องตรวจสอบสภาพไม่ให้บิดเบี้ยว คดงอ หรือเป็นสนิม

การใช้ค้ำยันไม้ที่เป็นเสาต้องมีลักษณะตรงไม่คดงอ ส่วนของโคนต้นต้องอยู่ข้างล่างและตัดให้เสมอแนวราบดังแสดงในรูปที่ 17 (ก) แป้นขาหยั่งที่นิยมใช้แผ่นไม้ขนาดอย่างน้อย 2 x 8 หรือแผ่นเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 1/2 ที่มีรายการคำนวณพร้อมด้วยวางแบนราบเพื่อกระจายแรงให้ถ่ายแผ่มากขึ้น สำหรับแป้นรองรับส่วนบนควรใช้ไม้ขนาด 2 x 6 หรือ 1 1/2 x 8 ส่วนการยึดรั้งระหว่างค้ำยันแต่ละตัวจะต้องได้รับการตรวจสอบเกี่ยวกับการดุ้งให้ละเอียดโดยยึดในแนวราบทุกๆ 2 เมตร เพื่อลดความชะลูดของค้ำยันลงและยึดในแนวทแยงเพื่อป้องกันนั่งร้านโย้ ตามลำดับ

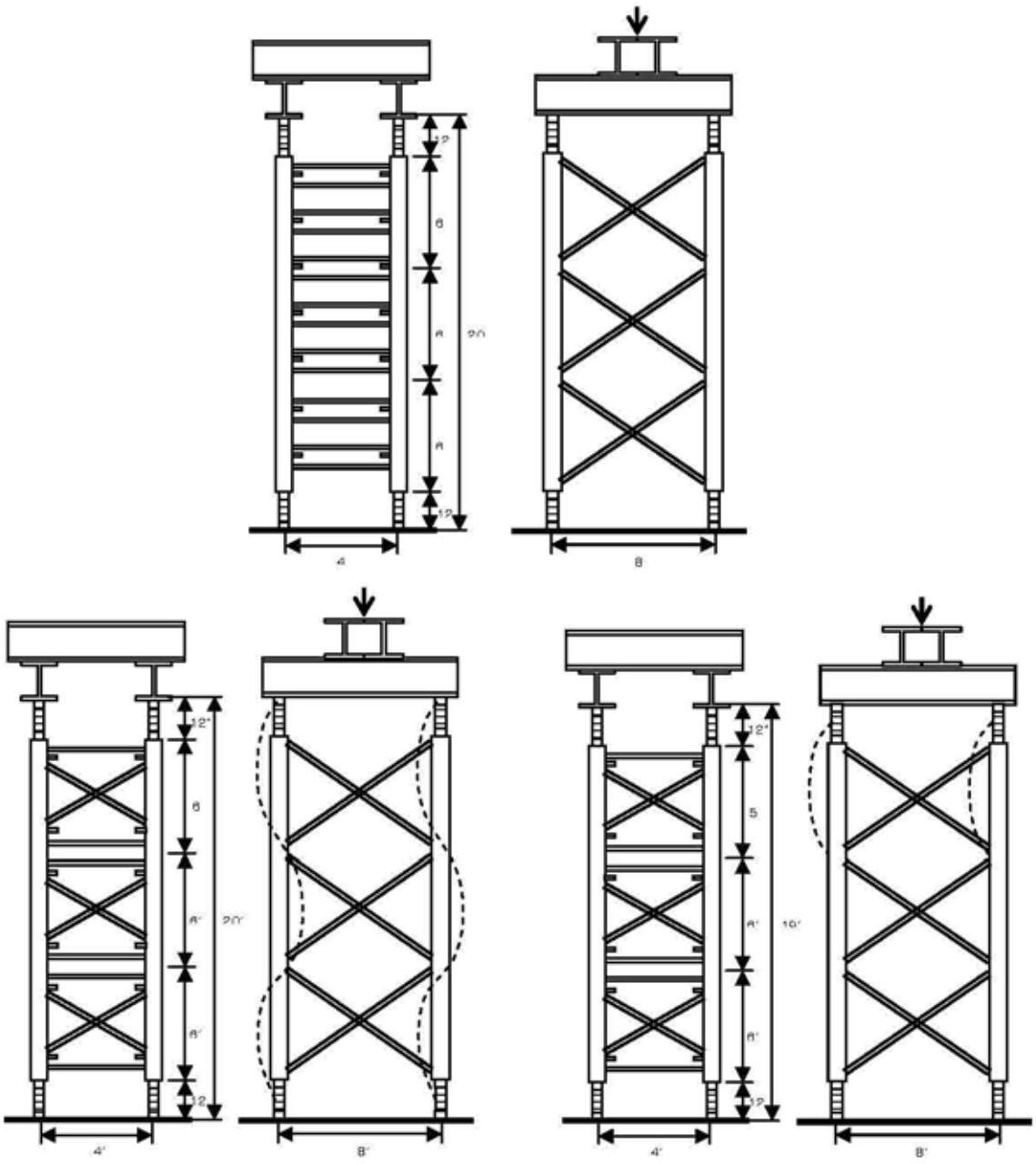
รูปที่ 17 (ก) ค้ำยันไม้

ค้ำยันเหล็กส่วนใหญ่จะเป็นเหล็กแป็บขนาดเดียวตลอดความยาวหรือสองขนาดสวมกันได้พอเหมาะปรับระยะได้โดยใช้สลักเสียบผ่านรูที่เจาะไว้ที่แป็บตัวนอกและแป็บตัวในจะนิ่งอยู่บนสลักนี้ หรืออาจจะปรับด้วยเกลียวโดยให้แป็บตัวนอกนั่งอยู่บนแป้นเกลียวที่ปรับแป้นรองรับตัวบนมักจะสวมไว้ในตัวเสายัน ซึ่งอาจปรับหน้าแปลนได้เล็กน้อยแป้นขาหยั่งส่วนล่างอาจเป็นเหล็กหล่อรูปกลวงสำหรับเสียบท่อแป็บลงได้พอดี หรืออาจเป็นเกลียวระยะสั้นๆ เพื่อการยึดกับเสาค้ำยันได้อย่างมั่นคง การยึดระหว่างเสาเพื่อป้องกันการดุ้งอาจทำได้ด้วยการใช้ตัวรัดทั้งแป้นบน แป้นขาหยั่งและตัวปรับระดับดังแสดงไว้ในรูปที่17(ข)

การใช้นั่งร้านเหล็กเป็นค้ำยันใช้ได้ในหลาย ๆ กรณี เพราะนั่งร้านสำเร็จรูปส่วนใหญ่จะเบาแต่อาจเป็นปัญหาเกี่ยวกับระดับได้ เพราะค้ำยันแต่ละท่อนจะมีความยาวคงที่อาจจะเป็น 1.20,1.50,1.80,2.00 หรือ 2.40 เมตรแล้วแต่บริษัทผู้ผลิต ดังนั้นจึงต้องดัดแปลงให้มีการปรับระดับได้ที่แป้นรับส่วนบนและแป้นขาหยั่งส่วนล่าง ดังแสดงในรูปที่ 17 (ค) ข้อควรพิจารณาประกอบการใช้นั่งร้านเหล็กเป็นค้ำยันคือ ความสามารถรับแรงในแนวแกน จึงต้องศึกษารายละเอียดของผู้ผลิตอย่างถี่ถ้วน และพิจารณาถึงเสถียรภาพตลอดถึงวิธีการยึดเกาะกับตัวโครงสร้างข้างเคียง เช่น ตอม่อ เพื่อลดค่าความชลูดและเพิ่มความสามารถในการรับแรง มิฉะนั้นอาจจะเกิดการวิบัติของนั่งร้านได้ ดังแสดงในรูปที่ 18 จะเห็นว่าอาจเกิดการดุ้งได้โดยทั้งแถบโย้ไปด้วยกัน ดังแสดงในรูป (ก) หรือดุ้งเป็นส่วน ๆ ดังรูป (ข) และอาจดุ้งเป็นหลายคลื่นดังรูป (ค)

รูปที่ 17 (ข) ลักษณะค้ำยันเหล็ก

รูปที่ 17 (ค) การใช้นั่งร้านเหล็กค้ำยัน



รูปที่ 18 ลักษณะการวิบัติแบบต่าง ๆ ของนั่งร้าน

ภาคผนวก – ฉ

การแต่งผิวพื้นสะพานและการติดตั้ง Joint

วิธีการควบคุมการแต่งผิวพื้นสะพานให้เรียบ

โดยทั่วไปการทำพื้นสะพานให้เรียบนั้น ต้องอาศัยทั้งความรู้หรือวิธีการของผู้ควบคุมงาน ความสามารถของผู้รับจ้าง และเรื่องของ Material หรือวัสดุคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้าง เพราะทั้ง 3 องค์ประกอบนี้เป็นหลักสำคัญร่วมกันในการที่จะทำให้ผลงานก่อสร้างสะพานสมบูรณ์ขึ้นได้ ซึ่งพอที่จะจำแนกวิธีการก่อสร้างรวมไปถึงคุณภาพหรือลักษณะของวัสดุที่ใช้ประกอบในการก่อสร้างพื้นสะพานได้ดังนี้

- **ก่อนการเทคอนกรีต**

- ตรวจสอบการลดระดับของบ่ารับคานบริเวณตอม่อที่เผื่อไว้สำหรับการโก่งของคานให้ถูกต้องเพื่อการเทคอนกรีตให้ได้ระดับและความหนาของพื้นสะพานที่กึ่งกลาง Span ตามแบบต่อไป ทั้งนี้ให้ถือว่าระดับที่ลดเผื่อนั้น คือระยะที่คานโก่งสูงสุดบริเวณกึ่งกลางคาน

- ตรวจสอบระดับพื้นคอนกรีตก่อนการเทให้ถูกต้อง โดยต้องเผื่อระดับเนื่องจากการทรุดตัวของนั่งร้านและน้ำหนัก Dead load (Camber) และใช้เหล็กระดับที่แข็งแรงพอเป็นระดับอ้างอิงที่ใช้เท (ส่วนใหญ่ใช้ท่อเหล็กแป๊บ) ซึ่งมีความยาวเพียงพอตลอดแนวการเทตามขวางหรือตามแนวขนานกับ Traffic Direction โดยต้องจัดวางด้วยระยะ (Spacing) ในแนวขนานหรือตั้งฉากกับแนว Traffic Direction ตามลำดับและไม่ให้ระยะเกินกว่าความสารถของคนงานที่ใช้ไม้สามเหลี่ยมปาดแต่งระดับได้, ตัวค้ำยันเหล็กระดับนี้ต้องเชื่อมยึดให้มั่นคงด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ให้พิจารณาถึงชนิดและความยาวช่วง Span ของพื้นสะพานที่เหมาะสมด้วย ถ้าเป็น Span ยาว ๆ หรือเป็นพื้นสะพานบน Girder (Girder Type) ก็ควรจัดวางเหล็กระดับตามแนวขวางเพื่อที่จะเทคอนกรีตตามแนวขวางต่อไป

- **ขณะทำการเทคอนกรีต**

- เทคอนกรีตในแนวตั้งฉากหรือขนานกับ Traffic Direction จากส่วนล่างไปหาส่วนบนที่ระดับเหนือกว่าและในขณะเดียวกันเริ่มจาก Grade ต่ำไปหา Grade ที่สูงกว่า ทั้งนี้จะเทตามขวาง(ตั้งฉาก)หรือตามยาว(ขนาน)กับแนว Traffic Direction ให้พิจารณาถึงช่วง Span ที่เหมาะสมและชนิดของพื้นสะพานด้วย โดยให้เทตามช่องของเหล็กระดับที่จัดวางไว้ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อก่อนการเทคอนกรีต

- ตรวจสอบคอนกรีตที่จะเทบริเวณเดียวกันนั้นให้มีความข้นเหลว (Slump) คงที่เหมือนกัน

- ควบคุมการจี้คอนกรีตให้ถูกวิธีตามมาตรฐานและห้ามจี้คอนกรีตที่เริ่มก่อตัวแล้ว

- ให้ใช้ตัวรีด ๆ ระดับคอนกรีตที่เทให้เป็นไปตามระดับที่ให้ไว้ (ตัวรีดคอนกรีตเหมือนกับที่ใช้ในงาน Concrete Pavement) โดยให้ตัวรีดวางในแนวตั้งฉากกับ Traffic Direction หรือวางในแนวตั้งฉากกับเหล็กระดับนั้นเอง และทิศทางการไสรีดก็อยู่ในแนวนี้เช่นกันดังแสดงในรูปที่ 19

รูปที่ 19 แสดงตำแหน่งการวางตัวรีดและทิศทางการรีดพร้อมทั้งเหล็กระดับในการเทพื้นคอนกรีตสะพาน

- **ภายหลังการเทคอนกรีต**

- ควบคุมการปาดแต่งระดับโดยให้ใช้อุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเพียงพอที่จะกดปาดแต่งระดับได้ เช่น ไม้สามเหลี่ยม ขนาดประมาณ 1.5 – 2.0 เมตร การปาดแต่งระดับต้องให้ระดับที่ปาดแต่งพอดีกับระดับของเหล็กระดับที่วางไว้ถ้าต่ำไปให้เสริมคอนกรีตเพิ่มเข้าไป ถ้าสูงไปให้พยายามกดแล้วปาดคอนกรีตออกก่อนที่จะปาดแต่งระดับอีกครั้งหนึ่ง

- การขัดแต่งหน้าให้กระทำเมื่อคอนกรีตก่อตัวไปแล้วพอสมควรแต่บริเวณผิวหน้าต้องไม่แห้งถึงขั้นที่ขัดแต่งไม่ได้ สังเกตได้จากยังมีส่วนที่เป็นน้ำจากคอนกรีตอยู่บริเวณผิว

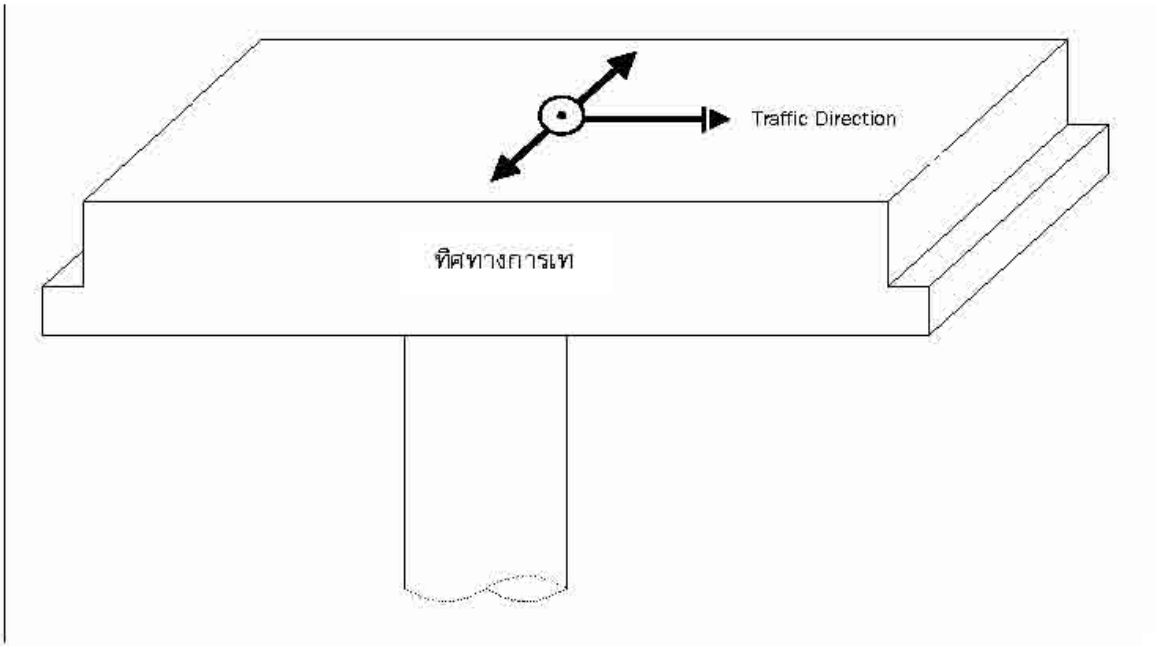
- การขีดเส้นแต่งผิวหน้าให้รีบกระทำหลังจากขัดแต่งผิวหน้าก่อนที่จะแข็งตัวโดยสมบูรณ์

- การบ่มคอนกรีตต้องให้สม่ำเสมอทั่วถึงกันตลอดพื้นที่ที่เทคอนกรีตเสร็จ

- การถอดแบบและค้ำยันแบบให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตได้อายุมากพอหรือตามกำหนดไว้เท่านั้น

- การตรวจสอบระดับพื้นสะพานที่เทเสร็จแล้วอีกครั้งหนึ่งเพื่อดูว่าการเผื่อระดับไว้ก่อนเทคอนกรีตนั้นถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องให้ปรับเพิ่ม-ลด ตามความเหมาะสมเพื่อให้ระดับพื้นหลังก่อสร้างเสร็จเป็นไปตามแบบ

ในกรณีการเท Cantilever Deck หรือโครงสร้างที่ยื่นมากให้เทจากบริเวณหัวเสา กระจายพื้นที่ให้สม่ำเสมอตามแนวตั้งฉากกับทิศทางการจราจร ไปยังปลายของคานหัวเสา และเทคอนกรีตให้สูงขึ้นเป็นชั้นๆเท่าๆกัน

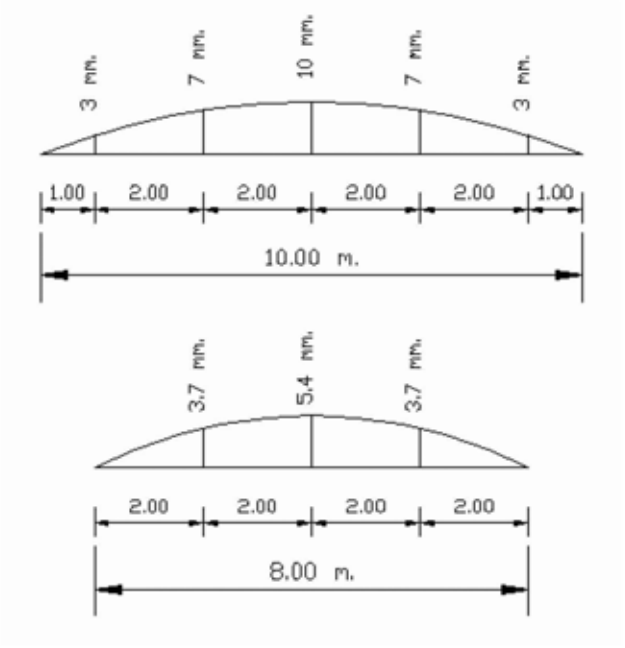


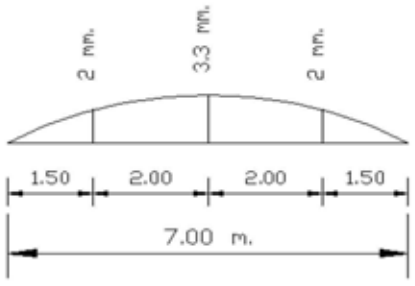
รูปที่ 20 แสดงตำแหน่งการเทคอนกรีต Cantilever Deck ที่ความกว้าง Road Way มากๆ

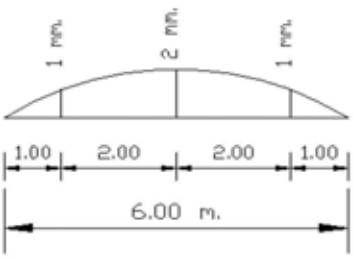
Camber of Slab Bridges

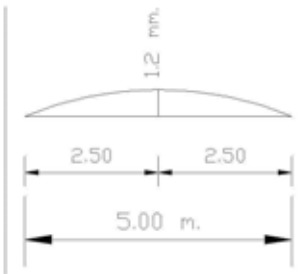
Due to Dead Load

Time Factor = 2.5









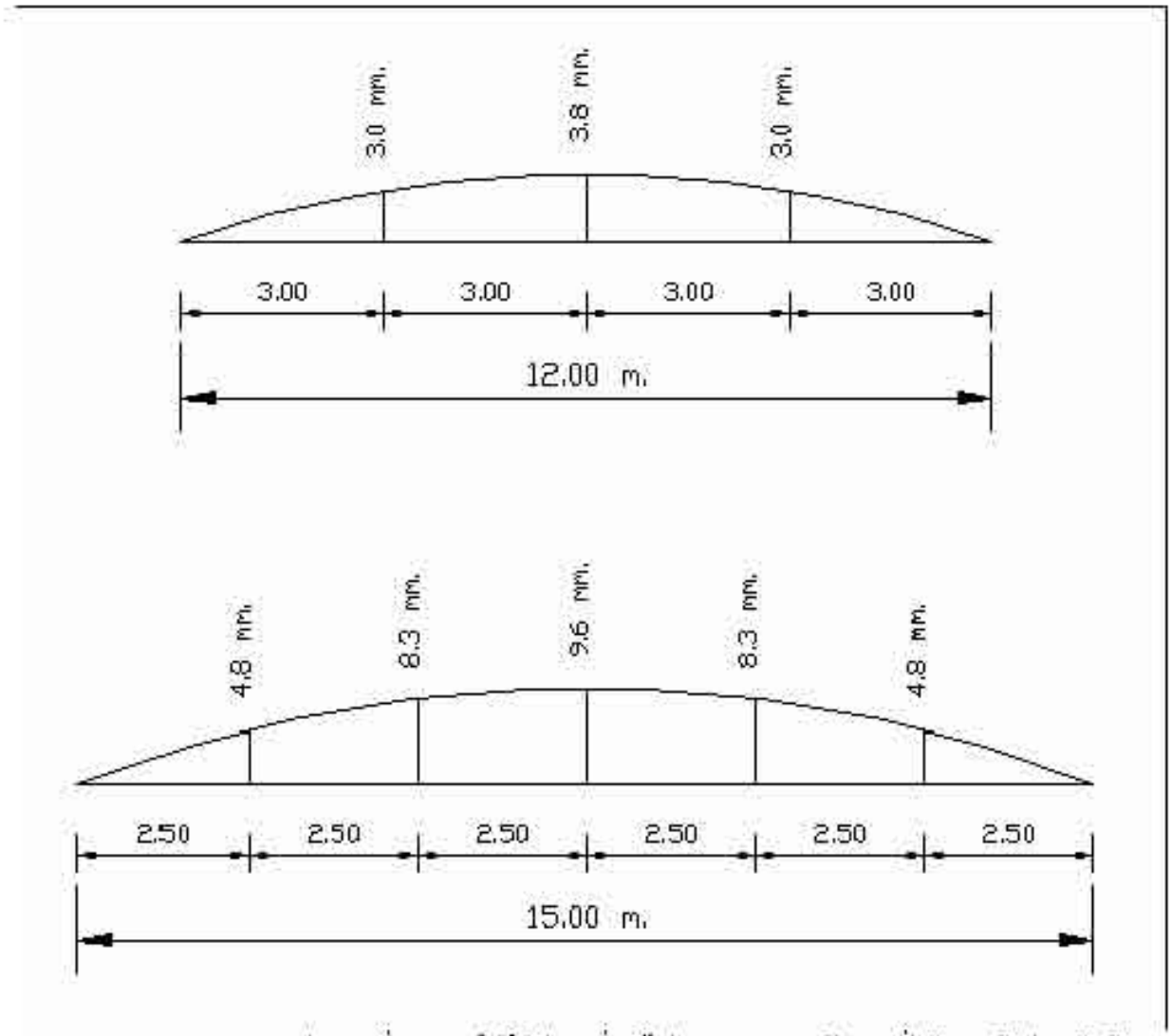
หมายเหตุ Camber ระหว่างจุดที่กำหนดให้ใช้ค่าเฉลี่ย (ไม่รวมการทรุดตัวของนั่งร้าน(ถ้ามี) เข้าด้วย)

Camber of Slab Bridges

(Simple Span)

Due to Dead Load

Time Factor = 2.5



หมายเหตุ Camber ระหว่างจุดที่กำหนดให้ใช้ค่าเฉลี่ย (ไม่รวมการทรุดตัวของนั่งร้าน (ถ้ามี) เข้าด้วย)

วิธีการติดตั้งรอยต่อ (Joint)

การติดตั้ง Joint ต่าง ๆ บนพื้นสะพานนั้น หลักสำคัญต้องตรวจสอบระดับให้ถูกต้อง เพื่อให้รอยต่อเสมอกันและยังต้องคำนึงถึงวิธีการในการติดตั้งให้สมบูรณ์เป็นไปตามข้อกำหนดจากแบบก่อสร้างด้วย เช่น การเชื่อม, การเทคอนกรีตบริเวณรอยต่อ, การจัดระดับ Joint ให้เสมอกัน

- **ข้อควรระวังในการควบคุมตรวจสอบการติดตั้ง Joint มีดังนี้**

- การเชื่อมสำหรับรอยต่อชนิดใช้แผ่นเหล็กจะต้องทำให้เหล็กรูปตัว U ที่ใช้เสริมยึดระหว่างแผ่นเหล็กกับเนื้อคอนกรีตเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กให้สนิทและสมบูรณ์อย่าให้หลุดได้พร้อมทั้งตรวจสอบระดับที่ติดตั้งให้ถูกต้องตามแบบด้วย
- ส่วนที่เป็นคอนกรีต Block Out บริเวณ Joint ต้องใช้วัสดุที่ไม่หดตัวเป็นตัวประสานระหว่างคอนกรีตกับ Joint เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกและน้ำซึมลงไปใน Joint ได้
- ต้องตรวจสอบการปรับระดับคอนกรีตให้ถูกต้อง และเสมอกับระดับบนของ Joint
- การติดตั้งต้องให้ Joint แนบสนิทกับเนื้อคอนกรีตไม่ให้เกิดมีช่องว่างใต้ Joint ได้ เพราะถ้าติดตั้งไม่แนบสนิท เมื่อเปิดการจราจรแล้วอาจเกิดแรงกระแทกทำให้คอนกรีตบริเวณรอยต่อเกิดการแตกร้าวได้
- กรณีกำหนดให้ปูยางแอสฟัลต์คอนกรีตบนพื้นสะพาน ให้หลีกเลี่ยงวิธีการก่อสร้าง Joint ก่อน แล้วปูยางแอสฟัลต์คอนกรีตภายหลัง

EFFECT ON CONCRETE BY VARIOUS CHEMICAL AGENTS ACIDS

Material	Effect on concrete
Acetic	Disintegrates slowly
Acid waters	Natural acid waters may erode surface mortar, but usally action then stop
Carbolic	Disintegrates slowly
Humic	Depends on humus material, but may cause slow disintegration
Hydrochloric	Disintegrates
Hydrofluoric	Disintegrates
Lactic	Disintegrates slowly
Muriatic	Disintegrates
Nitric	Disintegrates
Oxalic	None
Phosphoric	Attacks surface slowly
Sulfuric	Disintegrates
Tannic	Disintegrates slowly

SALTS AND ALKALIES (SOLUTION)

Material		Effect on concrete
Carbonates of	Ammonia Potassium Sodium	None
Chlorides of	Calcium Potassium Strontium	None unless concrete is alternately wet and dry with Sodium the solution.

Chlorides of	Ammonia	
	Copper	
	Iron	Disintegrates slowly
	Magnesium	
	Mercury	
	Zinc	
Fluorides		None except ammonium fluoride
Hydroxides of	Ammonia	
	Calcium	None
	Potassium	
	Sodium	
Nitrates of	Ammonium	Disintegrates
	Calcium	
	Potassium	None
	Sodium	
Potassium permanganate		None
Silicates		None
Sulfates of	Aluminum	
	Calcium	
	Cobalt	
	Copper	Disintegrates however, concrete products
	Iron	cured in high pressure steam are highly
	Manganese	resistant to sulfates
	Nickel	
	Potassium	
	Sodium	
	Zinc	

PETROLEUM OILS

Material	Effect on concrete
Heavy oils*	
Below 35 deg Baume	None
Light oils* Above 35 deg Baume	None – Require impervious Concrete to prevent loss from penetration, and surface treatments are generally used.
Benzine Gasoline Kerosene Naptha High octane gasoline	None – Require impervious concrete to prevent loss from penetration, and surface treatment are generally used.

COAT TAR DISTILLATES

Material	Effect on concrete
Alizarin Anthracene Benzol Cinamol	None
Paraffin Pitoh Toluol Xylol	None
Creosote Cresol Phenol	Disintegrates slowly

VEGETABLE OILS

Material	Effect on concrete
Cottonseed	No action if air is excluded: slight disintegration if exposed to air
Raisin	None
Almond	
Castor	
Chian wood* *	Disintegrates surface slowly
Coconut	
Linseed	
Olive	
Peanut	
Poppy seed	
Soybean**	
Tung**	Disintegrates surface slowly
Walnut	
Turpentine	None: considerable penetration

FATS AND FATTY ACIDS (ANIMAL)

Material	Effect on concrete
Fish oil	Most fish oils attack concrete slightly
Foot oil	
Lard an lard oil	Disintegrates surface slowly
Tallow and tallow	

MISCELLANEOUS

Material	Effect on concrete
Alcohol	None
Ammonia water (Ammonium hydroxide)	None
Baking soda	None
Beer	Beer will cause no progressive disintegration of concrete, but in beer storage and fermenting tanks a special coating is used to guard against contamination of beer
Bleaching solution	Usually no effect
Borax, boric acid,	No effect
Brine (salt)	Usually no effect on impervious concrete
Buttermilk	Same as milk
Charged water	Same as carbonic acid ; siow attack
Caustic soda	No effect on caicareous aggregate concrete
Cider	Disintegrates (see acetic acid)
Cinders	May cause some disintegration
Coal	Great majority of structures show no deterioration exceptional cases have been coal high in pyrites(sulfide od iron) and moisture showing some action but the rate is greatly retarded by deposit of an insoluble film ; action may be stopped by surface treatment
Corn syrup	Disintegrates slowly
Cyanide solutions	Disintegrates slowly
Electrolyte	Depends on liquid
Formalin	Aqucons solution of formaldehyde disintegrates concrete
Fruit juices	Most fruit juices have little if any effect as tartaric acid and citric acid do not appreciably affect concrete ; floors under raisin seeding machines have show some effect, probably due to poor concrete
Glucose	Disintegrates slowly
Glycerine	Disintegrates slowly
Honey	None

Lye	See caustic soda
Milk	Sweet milk should have no effect,but if allowed to sour the lactic acid will attack
Molasses	Does not affect impervious, throughly cured concrete ; dark, partly refined molasses may attack concrete that is not thoroughly cured
Niter	None
Sal ammonia	Same as ammonium chloride ; causes slow disintegration
Sal soda	None
Saltpeter	None
Sauerkraut	Little, if any effect
Silage	Attacks concrete slowly
Sugar	Dry sugar has no effect on concrete that is thoroughly cured. sugar solution attack concrete.
Sulfite liquor	Attacks concrete slowly
Tanning liquor	Depends on liquid : most of them have no effect ; tanneriers using chromium no effects
Trisodilum phosphate	None
Vinegar	Disintegrates (see acetic acid)
Washing soda	None
Whey	The lactic acid will attack concrete
Wine	Many wine tanks with no surface coating have given good result but taste of first batoh may be affected unless concrete has been given tartaric acid treatment
Wood pulp	None

* Many lubricating and other oils contain some vegetable oils. Concrete exposed to such oils should be protected as for vegetable oils.

* Applied in thin coats the material quickly oxidized and has no effect. Results indicated above are for constant exposure to the material in liquid form.

หมายเหตุ

1. การป้องกันคอนกรีตให้พ้นอันตรายจาก Aggressive chemical agents อาจกระทำได้ดังนี้
   - ก. อย่าให้สารเคมีที่เป็นอันตรายมาถูกคอนกรีต
   - ข. ทำ Preventive coating
   - ค. ใช้ cement พิเศษบางชนิด

2. คอนกรีตซึ่งมีคุณภาพดี แน่น และบ่ม (cure) อย่างถูกต้องจะมีความต้านทานต่อ Aggressive chemical agents ทำให้เกิดอันตรายน้อยลง
3. น้ำทะเลเป็นภัยต่อคอนกรีต เนื่องจากมีสาร Sulfate รวมอยู่ด้วย น้ำทะเลหรือน้ำเกลือเป็นตัวทำลายเหล็กเสริม