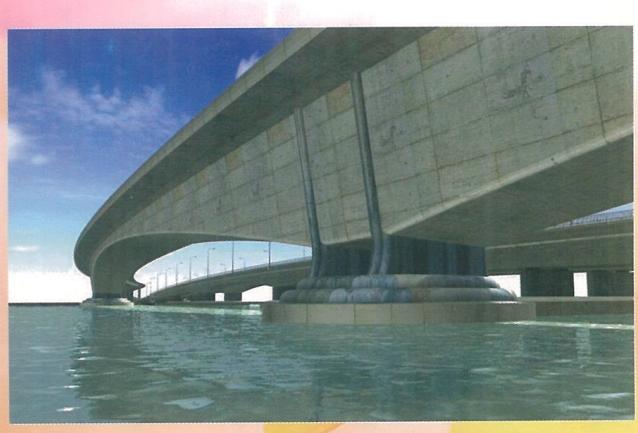
คู่มือการควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง

เล่มที่ 3

การควบคุมงานก่อสร้างสะพาน และอาคารระบายน้ำ



กันยายน

2550

คู่มือการควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง

เล่มที่ 3

การควบคุมงานก่อสร้างสะพาน และอาคารระบายน้ำ

กันยายน
2550

คำนำ

กรมทางหลวง เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบการวางแผน ก่อสร้าง บำรุงรักษา รวมไปถึงการบริหารจัดการโครงข่ายทางหลวงสายหลักของประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และความมั่นคง ในการที่จะได้มาซึ่งโครงสร้างถนนที่มีคุณภาพนั้น องค์ความรู้ด้านงานก่อสร้างทางหลวงซึ่งรวมทั้งการก่อสร้างถนนและสะพาน จึงเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญด้านหนึ่งขององค์กรที่บุคลากรจะต้องได้รับการถ่ายทอด และเรียนรู้ ผ่านกระบวนการจัดการความรู้ที่ดีและมีประสิทธิภาพ

ชุดเอกสาร “คู่มือการควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง” เป็นผลงานส่วนหนึ่งในขั้นตอนการจัดการความรู้ด้านงานก่อสร้างของกรมทางหลวง มุ่งหวังให้ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางในการรวบรวมความรู้ความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านที่มีอยู่ในองค์กร ถ่ายทอดสู่บุคลากรที่เกี่ยวข้อง เพื่อรักษาและยกระดับมาตรฐานการทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยชุดเอกสารจะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 เล่ม ประกอบด้วย การบริหารโครงการ การควบคุมงานก่อสร้างทาง การควบคุมงานก่อสร้างสะพานและอาคารระบายน้ำ และการควบคุมคุณภาพวัสดุ

กรมทางหลวงหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ชุดเอกสาร “คู่มือการควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง” นี้ จะเป็นสื่อกลางในการถ่ายทอดความรู้ด้านงานก่อสร้างทางหลวงอย่างต่อเนื่องสู่บุคลากรของกรมทางหลวงและผู้ที่สนใจ เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดต่อองค์กรและประเทศชาติสืบต่อไป

(นายทรงศักดิ์ แพเจริญ)
อธิบดีกรมทางหลวง

สารบัญ

หน้า

คำนำ

สารบัญ

บทที่ 1	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานก่อสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก	1
บทที่ 2	การสำรวจ วางแนว และงานระดับ	15
บทที่ 3	สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Bridge)	21
บทที่ 4	สะพานคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Bridge)	31
บทที่ 5	ทางลอด (Underpass)	69
บทที่ 6	โครงสร้างคอสะพาน (Bridge Approach Structure)	83
บทที่ 7	Bearing Unit	99
บทที่ 8	กำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน (Reinforced Earth Wall)	103
บทที่ 9	งานเบ็ดเตล็ด (Miscellaneous)	107
บทที่ 10	ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก (R.C. Box Culvert)	111
บทที่ 11	ท่อกลมคอนกรีตเสริมเหล็ก (R.C. Pipe Culvert)	119
บรรณานุกรม		127
ภาคผนวก		129
	ภาคผนวก ก การสำรวจระบบพิกัด โค้งแนวราบ โค้งแนวดิ่ง และงานระดับ	*131*
	ภาคผนวก ข แบบหล่อคอนกรีตและค้ำยัน	*157*
	ภาคผนวก ค การผสม การลำเลียง การเทลงแบบ และการอัดแน่น	*179*
	ภาคผนวก ง การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต งานเทคอนกรีต และการบ่มคอนกรีต	*195*
	ภาคผนวก จ ปัญหาของเสาเข็มตอก การคำนวณกำลังรับน้ำหนัก การทดสอบน้ำหนักบรรทุก การทดสอบความสมบูรณ์ของเข็มเจาะ การตรวจสอบความสมบูรณ์ของหลุมเจาะ และความปลอดภัย	*201*
	ภาคผนวก ฉ แผ่นยางรองคาน	*215*
	ภาคผนวก ช คานคอนกรีตอัดแรง	*221*
	ภาคผนวก ซ การแต่งผิวพื้นสะพาน ระยะ Camber การติดตั้ง Joint และผลกระทบต่อวัสดุคอนกรีตจากสารเคมี	*233*
คำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานจัดทำคู่มือควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง		245

บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานก่อสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กหรือสะพาน คสล. เป็นส่วนประกอบที่สำคัญยิ่งของงานก่อสร้างทาง ทำหน้าที่หลักคือ ระบายน้ำผิวดิน เรียกว่า Drainage Structure หรือบางกรณีก่อสร้างข้ามหรือลอดสิ่งกีดขวาง เช่น ทางแยก (Overpass หรือ Underpass) หรือทางแยกต่างระดับ (Interchange) รวมทั้งงานก่อสร้างทางยกระดับ สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก จัดเป็นโครงสร้างถาวร (Permanent Structure) ที่มีอายุบริการยาวนานกว่าตัวคันทาง การสำรวจข้อมูลในสนาม การออกแบบและการก่อสร้างจึงต้องพิจารณาดำเนินการอย่างละเอียดรอบคอบเพื่อให้ได้ผลงานที่ดีมั่นคงแข็งแรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการอย่างคุ้มค่า เนื่องจากราคาค่าก่อสร้างสูงและมีอายุบริการยาวนานกว่าตัวคันทาง

1.1 ลักษณะของงานก่อสร้างสะพาน

งานก่อสร้างสะพาน แยกออกได้ตามลักษณะของโครงการ ดังนี้

1.1.1 งานก่อสร้างสะพานในงานโครงการก่อสร้างทาง

1.1.1.1 การวางแผนก่อสร้างจะต้องสอดคล้องกับงานก่อสร้างตัวคันทาง

1.1.1.2 สะพานขนาดเล็กช่วงความยาว (Span) ไม่มาก ก่อสร้างโดยใช้แบบมาตรฐาน

1.1.1.3 สะพานขนาดใหญ่ ข้ามแม่น้ำ ข้ามทางแยก (Overpass)

1.1.2 โครงการก่อสร้างสะพาน โดยทั่วไปจะเป็นการก่อสร้างสะพานขนาดใหญ่ ข้ามแม่น้ำ หรือทางแยก (Overpass) แบบก่อสร้างจะเป็นแบบเฉพาะแห่ง ออกแบบให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่ มีแบบรายละเอียดประกอบมาก ซึ่งจะต้องศึกษาทำความเข้าใจอย่างรอบคอบก่อนลงมือก่อสร้าง

1.1.3 โครงการก่อสร้างทางแยกต่างระดับ (Interchange) เป็นงานก่อสร้างที่มีความยุ่งยากซับซ้อนทั้งแนวและระดับ เนื่องจากโดยทั่วไป การออกแบบจะถูกจำกัด โดยเงื่อนไขของสภาพพื้นที่ จึงต้องศึกษาแบบรายละเอียดอย่างรอบครอบ

1.2 หลักปฏิบัติและขั้นตอนดำเนินการในงานก่อสร้างสะพาน

1.2.1 งานที่จะต้องดำเนินการก่อนการก่อสร้าง

1.2.1.1 งานในสำนักงาน

1.2.1.1.1 ตรวจสอบรายละเอียดของสัญญา

1.2.1.1.2 ตรวจสอบปริมาณงานและค่างาน

1.2.1.1.3 ตรวจสอบแบบรายละเอียดครบถ้วนหรือไม่

1.2.1.1.4 ตรวจสอบพิจารณาแบบก่อสร้างว่าสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศหรือไม่เพียงใด

1.2.1.1.5 ประสานงานกับหน่วยงานสาธารณูปโภคที่มีแนวสาธารณูปโภคอยู่ในพื้นที่ก่อสร้าง เพื่อประชุมหาแนวทางในการรื้อย้ายหรือหลบหลีกระหว่างการทำงาน

1.2.1.1.6 เตรียมแผนการจัดทำทางเบี่ยง การจัดการจราจรและการอำนวยความปลอดภัยบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง

1.2.1.2 งานสนาม

1.2.1.2.1 สำรวจแนวศูนย์กลางสะพานเปรียบเทียบกับสภาพจริงในสนาม

1.2.1.2.2 ตรวจสอบ หมุดหลักฐานของแนวและระดับ และซ่อมแซมให้ครบถ้วน

1.2.1.2.3 ตรวจสอบระดับก่อสร้าง

1.2.1.2.4 ตรวจสอบรูปตัดลำน้ำ ระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุด ช่องลอด

1.2.1.2.5 ตรวจสอบตำแหน่งตอม่อ สอดคล้องกับสภาพจริงในสนาม

1.2.1.2.6 สำรวจสิ่งกีดขวาง งานก่อสร้าง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับวางแผนงานก่อสร้าง

1.2.2 งานที่จะต้องดำเนินการระหว่างการก่อสร้าง

1.2.2.1 งานในสำนักงาน เป็นงานติดตาม ตรวจสอบ ประสานงาน และรายงาน เพื่อให้เป็นไปตามวิธีการและขั้นตอนของการก่อสร้าง

1.2.2.1.1 ตรวจสอบ Request ของงานที่จะดำเนินทุกงาน และทุกขั้นตอนให้เป็นไปตามวิธีการที่กำหนด

1.2.2.1.2 ทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ทั้งมวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียด

1.2.2.1.3 ทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

1.2.2.1.4 จัดชุดเจ้าหน้าที่ควบคุมงานทุกกิจกรรมที่ดำเนินการ ตั้งแต่การก่อสร้างฐานราก ตอม่อ จนกระทั่งงานแล้วเสร็จ

1.2.2.1.5 การรายงาน ให้รายงานสภาพดิน ฟ้า อากาศ ปริมาณฝน ความก้าวหน้า ปัญหา อุปสรรค และการแก้ไข

1.2.2.2 งานสนาม

1.2.2.1.1 ตรวจสอบสภาพของชั้นดิน เพื่อพิจารณากำหนดชนิดของฐานราก

1.2.2.2.2 กำหนดตำแหน่งของตอม่อให้สอดคล้องกับสภาพจริงในสนาม

1.2.2.2.3 กรณีเป็นตอม่อฐานแผ่ต้องกำหนดระดับฐานตอม่อ

1.2.2.2.4 กรณีตอม่อเป็นแบบ Caisson ต้องตรวจสอบวิธีการก่อสร้าง

1.2.2.2.5 กรณีตอม่อเป็นแบบ Bored Pile ต้องตรวจสอบวิธีการก่อสร้าง

1.2.2.2.6 กรณีตอม่อเป็นแบบ เข็มตอก ต้องตรวจสอบวิธีการตอก และอุปกรณ์ที่ใช้ให้เป็นไปตามที่กำหนด ตรวจสอบระดับปลายเสาเข็ม และคำนวณ การรับน้ำหนัก ตลอดจนการทำ Load Test หากจำเป็น

1.2.2.2.7 ตรวจแบบก่อนเทคอนกรีตทุกครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่า นั่งร้านและแบบมีความแข็งแรงเพียงพอ ระดับและเหล็กเสริมถูกต้อง

1.2.2.2.8 ตรวจสอบการติดตั้งวัสดุอุปกรณ์ประกอบครบถ้วนและถูกต้องทุกส่วนของงานก่อสร้าง

1.2.2.2.9 ควบคุมอัตราส่วนผสม การใช้สารผสม (Admixture) และวิธีการเทคอนกรีต

1.2.2.2.10 ตรวจสอบและควบคุมส่วนยุบ (Slump) ของคอนกรีตระหว่างการก่อสร้าง

1.2.2.2.11 เก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีต เพื่อทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักเมื่อคอนกรีตครบอายุ เป็น Control Test

1.2.2.2.12 ควบคุมการบ่มคอนกรีต

1.2.2.2.13 ควบคุมและกำหนดเวลารื้อแบบ และนั่งร้าน

1.3 องค์ประกอบของงานก่อสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

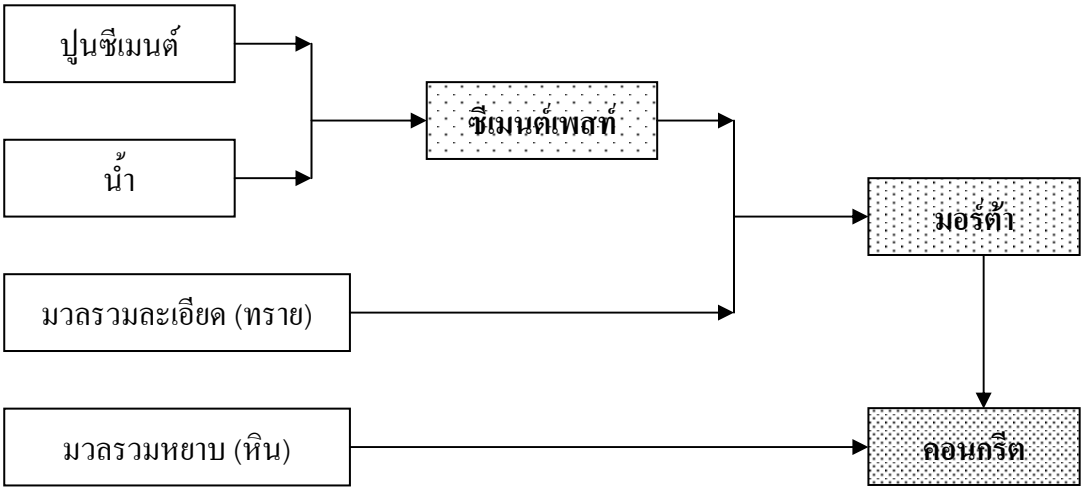
สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กหรือสะพาน คสล. เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วย คอนกรีต และเหล็กเสริม เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุด ทำหน้าที่รับแรงที่มากระทำร่วมกัน โดยที่คอนกรีตมีคุณสมบัติรับแรงอัด (Compression) ได้ดี ขณะที่เหล็กเสริมมีคุณสมบัติรับแรงดึง (Tension) และแรงเฉือน (Shear) ได้ดี แรงหรือน้ำหนักที่มากระทำบนโครงสร้างมีทั้งแรงอัด แรงดึง และแรงเฉือนในเวลาเดียวกัน ทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริมต่างรับแรงที่มากระทำตามคุณสมบัติเฉพาะตัว โดยการถ่ายเทแรงที่มากระทำผ่านแรงยึดเหนี่ยว (Bond) ระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริมซึ่งเกิดขึ้นหลังจากคอนกรีตก่อตัวจนกระทั่งมีขีดความสามารถรับแรงได้ตามที่กำหนด องค์ประกอบของงานก่อสร้างสะพาน คสล. แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

- คอนกรีต
- เหล็กเสริม
- นั่งร้านและแบบ

1.3.1 คอนกรีต

คอนกรีตซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด และน้ำ อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวขณะผสมเท หลังจากซีเมนต์และน้ำ ทำปฏิกิริยาทางเคมีโดยสมบูรณ์แล้ว จะกลายเป็นของแข็งที่มีคุณสมบัติรับแรงอัดและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริมตามที่ต้องการ

ส่วนประกอบหลักโดยทั่วไปของคอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสมของ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มวลรวม และน้ำ ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของวัสดุคอนกรีต

1.3.1.1 ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 มี 5 ประเภทด้วยกัน คือ

1.3.1.1.1 ประเภท 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในงานคอนกรีตที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา ใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป

1.3.1.1.2 ประเภท 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำหรับใช้ในงานคอนกรีตที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง

1.3.1.1.3 ประเภท 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High-Early Strength Portland Cement) ให้กำลังสูงในระยะแรกมีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้เร็ว หรือรื้อแบบเร็ว เช่น งานคอนกรีตอัดแรง เป็นต้น การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 3 นี้ ควรระวังในเรื่องควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตไม่ให้สูงเกินขอบเขต ด้วยมิฉะนั้นจะทำให้คอนกรีตเกิดรอยร้าวได้ง่าย

1.3.1.1.4 ประเภท 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement) ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้มากในงานก่อสร้างคอนกรีตหลา (Mass Concrete) เนื่องจากเกิดความร้อนของคอนกรีตต่ำกว่าประเภทอื่นขณะแข็งตัว

1.3.1.1.5 ประเภท 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (Sulphate Resistance Portland Cement) เหมาะสำหรับใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำหรือดินที่เป็นด่าง(Alkaline)สูง ปูนซีเมนต์ประเภท 5 นี้มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภท 1

การใช้งานโดยทั่วไป ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในส่วนผสมคอนกรีต และใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 5 ในส่วนผสมคอนกรีตของโครงสร้างที่ต้องป้องกันการกัดกร่อนของดินเค็ม

ปูนซีเมนต์ผงหรือปูนซีเมนต์ถุงซึ่งใช้ในแต่ละครั้ง จะต้องไม่เป็นเม็ดหรือเป็นก้อน ห้ามนำปูนซีเมนต์ถุงเก่าที่เปิดแล้วมาใช้ เนื่องจากซีเมนต์ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำในส่วนผสมของคอนกรีต กลายเป็นของแข็งที่มีคุณสมบัติรับแรงอัดตามต้องการหลังจากเกิดปฏิกิริยาทางเคมีโดยสมบูรณ์ หากซีเมนต์ที่นำมาใช้เสื่อมคุณภาพ เป็นเม็ดหรือเป็นก้อน จะทำให้เป็นอุปสรรคต่อขบวนการทางเคมีดังกล่าว

1.3.1.2 มวลรวม (Aggregate)

ประกอบด้วย

1.3.1.2.1 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้แก่ หินย่อย กรวด หรือกรวดย่อย ที่มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมหรือกลม มีเนื้อแข็ง เหนียว ไม่ผุ ไม่มีลักษณะแบนหรือยาวมากเกินไป สะอาด ไม่มีฝุ่นผง หรือสิ่งอื่นใดเคลือบผิว มวลรวมหยาบต่างชนิดกันห้ามนำมาผสมกัน คุณสมบัติตามที่กำหนดสำหรับมวลหยาบ ได้แก่

(1) ความสึกหรอ (Abrasion Test)

(2) ความพรุน (Porosity)

(3) ความคงทน (Soundness Test)

(4) ความแบน (Flakiness Index)

(5) ความยาว (Longitudinal Index)

(6) ความปนเปื้อน

(7) ขนาดคละ (Gradation) ขนาดใหญ่สุดของมวลที่ใช้ ควรมีขนาดไม่เกิน 1 ใน 5 ของส่วนที่บางที่สุดของโครงสร้างและต้องไม่เกิน 3 ใน 4 ของช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม

1.3.1.2.2 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ได้แก่ ทราย หรืออนุภาคของหินหรือที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมหรือเหลี่ยม ไม่แบนเป็นเกล็ด มีผิวหยาบและเม็ดแข็ง ทนทาน สะอาดปราศจากฝุ่นผงเคลือบ มวลรวมละเอียดจากแหล่ง

วัสดุต่างแหล่งกันห้ามนำมาผสมกัน คุณสมบัติตามที่กำหนดสำหรับมวลละเอียด ได้แก่

(1) ความปนเปื้อน ปราศจากดิน เถ้าถ่าน และสารอินทรีย์ต่างๆ ตลอดจนด่าง สารอนินทรีย์จำพวกอนุมูลคลอไรด์

(2) ความคงทน (Soundness Test)

(3) Organic Impurities Test ให้สีซึ่งไม่แก่กว่าสีมาตรฐาน

(4) ขนาดคละ

1.3.2 เหล็กเสริม

เหล็กเสริม สำหรับงานก่อสร้างสะพาน คสล. เป็นผลิตภัณฑ์ที่ควบคุมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วย เหล็กเสริมธรรมดา และเหล็กเสริมสำหรับคอนกรีตอัดแรง ทำหน้าที่รับแรงที่มากระทำตามที่ออกแบบ

1.3.2.1 เหล็กเสริมธรรมดา (Reinforcing Steel)

1.3.2.1.1 เหล็กเส้น ประเภทเหล็กเส้นกลม (Round Bar) จะต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กเส้นกลม มาตรฐาน เลขที่ มอก.20

1.3.2.1.2 เหล็กเส้น ประเภทเหล็กเส้นข้ออ้อย (Deformed Bar) จะต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย มาตรฐานเลขที่ มอก.24

1.3.2.2 เหล็กเสริมสำหรับคอนกรีตอัดแรง

1.3.2.2.1 ลวดเหล็กแรงดึงสูง เป็นลวดแบบกลมมีรอยย้ำประเภทคลายแรงมีคุณภาพตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรงมาตรฐานเลขที่ มอก.95 ลวดเหล็กแรงดึงสูงจะต้องม้วนเป็นขดกลมมัดแน่น ผิวลวดต้องมีฉลากระบุขนาดแบบประเภท น้ำหนักสุทธิ, ความยาว, ชั้นคุณภาพ, หมายเลขขด, หมายเลขการหลอมและชื่อหรือเครื่องหมายของผู้ผลิตติดแน่นไว้ที่ขดลวดทุกขด

1.3.2.2.2 ลวดเหล็กตีเกลียวแรงดึงสูง ประกอบด้วยเส้นลวด 7 เส้น ไม่เคลือบผิว และเป็นประเภทคลายแรงมีคุณภาพถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ลวดเหล็กตีเกลียวชนิด 7 เส้น สำหรับงานคอนกรีตอัดแรง มาตรฐานเลขที่ มอก.420 โดยมีขนาดระบุเป็นนิ้วหรือมิลลิเมตร ลวดเหล็กตีเกลียวต้องม้วนเป็นขดกลมมัดแน่นมีฉลากที่

แข็งแรงระบุน้ำหนักสุทธิ, ขนาด, ชั้นคุณภาพ, หมายเลขขด, หมายเลขการหลอม และชื่อหรือเครื่องหมายของผู้ผลิตติดไว้อย่างมั่นคง และเห็นได้ชัดเจนที่ขดลวดทุกขด ผิวของลวดเหล็กตีเกลียวจะต้องปราศจากคราบน้ำมันหรือสารอื่นใดที่จะมีผลทำให้แรงยึดระหว่างคอนกรีตกับลวดเหล็กเสียไป และไม่เป็นสนิมขุม

1.3.2.3 ลวดผูกเหล็ก (Binding Wire)

ลวดผูกเหล็กต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลวดผูกเหล็ก มาตรฐานเลขที่ มอก.138

1.3.3 นั่งร้านและแบบ

นั่งร้านและแบบทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของโครงสร้าง รวมทั้งทำหน้าที่กำหนดขอบเขตและรูปร่างของโครงสร้างคอนกรีต คสล. ให้เป็นไปตามแบบที่กำหนดจนกระทั่งคอนกรีตเกิดการก่อตัวมีคุณสมบัติรับแรงตามที่ออกแบบ ผลสำเร็จของงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กไม่ว่าจะเป็นงาน อาคาร สะพาน หรืองานอื่นใดจะประณีตเรียบร้อยตามแบบและบรรลุวัตถุประสงค์ย่อมขึ้นอยู่กับนั่งร้านและแบบที่ประณีต แข็งแรง หากเกิดความผิดพลาดขึ้นกับแบบและนั่งร้านย่อมหมายถึงเกิดความผิดพลาดขึ้นกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วย หลังจากคอนกรีตก่อตัวมีคุณสมบัติตามต้องการแล้ว การแก้ไขย่อมกระทำได้ยากลำบาก เพราะจะต้องทุบส่วนที่ผิดพลาดออกและทำการก่อสร้างใหม่ หรืออาจจะต้องทุบโครงสร้างทั้งหมดออก ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายโดยไม่สมควร ดังนั้น การก่อสร้างนั่งร้านประกอบแบบจะต้องกระทำโดยรอบคอบประณีต ตรวจสอบจนกระทั่งมั่นใจว่าถูกต้องแล้วจึงเทคอนกรีต

การถอดแบบ อนุญาตให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตครบอายุ ตามข้อกำหนด ต่อไปนี้

(1) แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
(2) แบบประกอบด้านล่างรองรับคาน พื้นบน 14 วัน
(3) ในกรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้นต้องไม่น้อยกว่าความสามารถรับแรงอัดที่ 28 วัน

1.4 การแบ่งประเภทและส่วนประกอบของโครงสร้างสะพาน

1.4.1 การแบ่งประเภทของสะพาน

การแบ่งประเภทของสะพาน เมื่อแบ่งตามความยาวช่วง จะแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.4.1.1 สะพานช่วงสั้น ความยาวช่วงระหว่าง 5.00 - 15.00 ม.

1.4.1.2 สะพานช่วงยาว ความยาวช่วงระหว่าง 16.00 - 30.00 ม.

1.4.1.3 สะพานช่วงยาวพิเศษ ความยาวช่วงเกิน 30.00 ม.

1.4.2 ส่วนประกอบของโครงสร้างสะพาน

ส่วนประกอบของสะพาน ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ โครงสร้างส่วนบน (Superstructure) โครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) และ ฐานราก (Foundation)

1.4.2.1 โครงสร้างส่วนบน (Superstructure) หมายถึง ส่วนประกอบของสะพานที่อยู่เหนือจุดรองรับ (Support) โดยทั่วไปจะประกอบด้วย

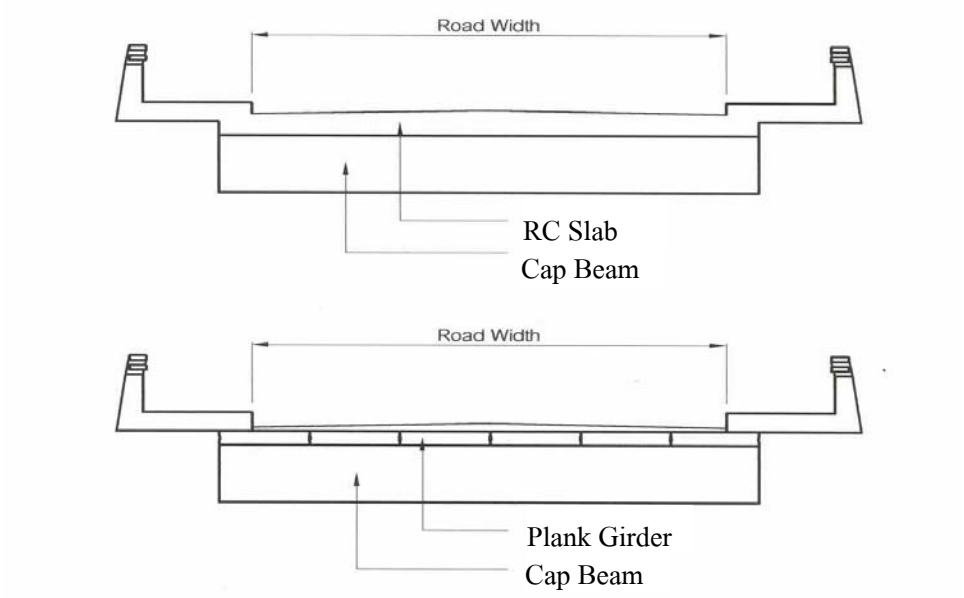
1.4.2.1.1 Slab

1.4.2.1.2 Side Walks

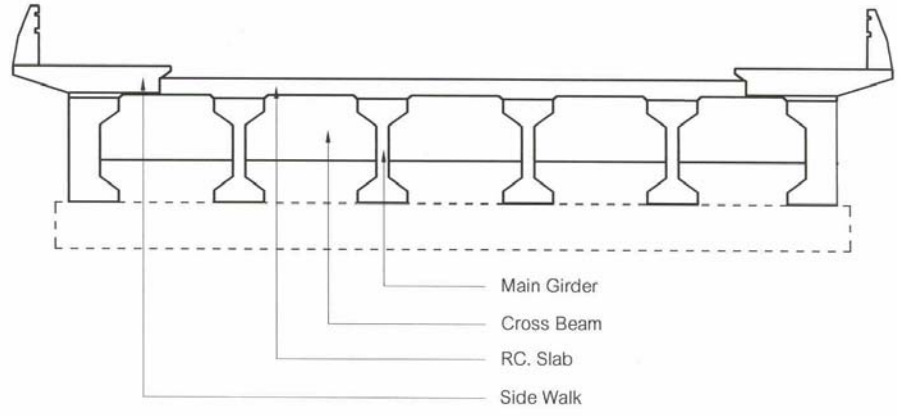
1.4.2.1.3 Railing

1.4.2.1.4 Cross Beam และ Main Girder (ในกรณีเป็น Girder Type)

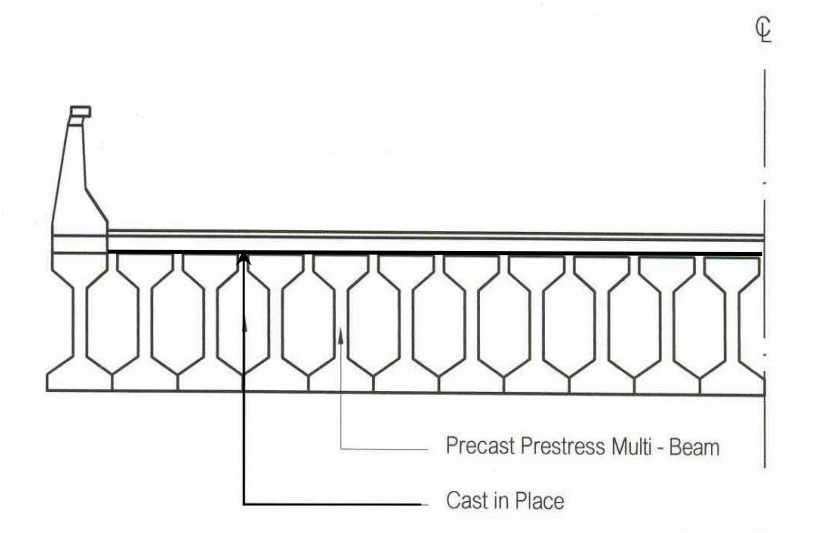
1.4.2.1.5 Bearings



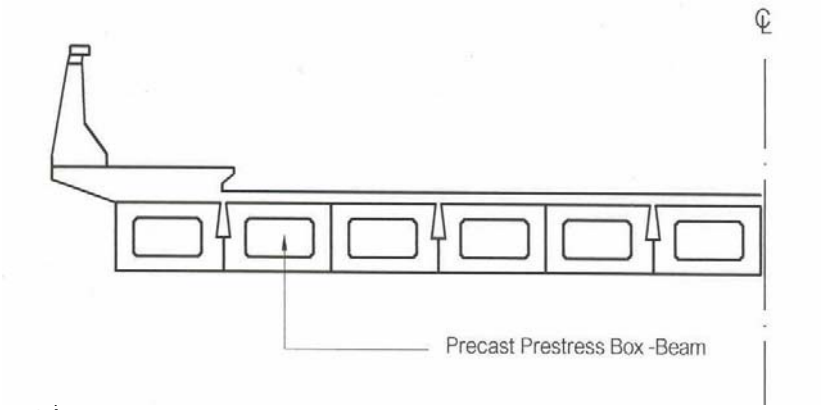
รูปที่ 1.2 Superstructure ของ RC. Bridge Slab Type



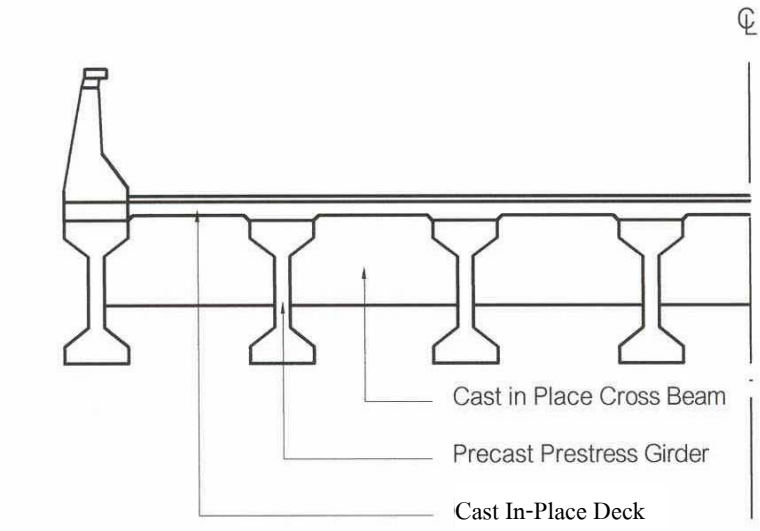
รูปที่ 1.3 Superstructure ของ Girder Type Maximum Span 20.00 m



รูปที่ 1.4 Superstructure ของ Multi - Beam Maximum Span 30.00 m.



รูปที่ 1.5 Superstructure ของ Box Beam Maximum Span 20.00 m.



รูปที่ 1.6 Superstructure ของ RC. Bridge Girder Type

พื้น ทางเท้า และราวสะพาน ซึ่งเป็นส่วนของ Superstructure

- พื้น (Slab) ซึ่งเป็นส่วนของโครงสร้างที่รับน้ำหนักการจราจรโดยตรง ก่อนถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงสู่โครงสร้างชั้นล่าง (Substructure) นอกจากทำหน้าที่รับน้ำหนักดังกล่าวแล้ว ยังเป็นตัวกำหนดระดับก่อสร้างให้เป็นไปตามที่กำหนดในแบบ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่การจราจร ดังนั้นการก่อสร้างพื้นสะพาน คสล. จะต้องประณีตเรียบร้อย เพื่ออำนวยความสะดวกแก่การจราจรดังกล่าว หากการก่อสร้างขาดความประณีต พื้น สะพานไม่เรียบ นอกจากจะทำให้ผู้ใช้ทางรู้สึก ไม่สะดวก สบาย แล้วยังเป็นการเพิ่มแรงกระแทก (Impact) บนโครงสร้าง โดยไม่จำเป็น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้อายุบริการของโครงสร้างลดลงอีกด้วย

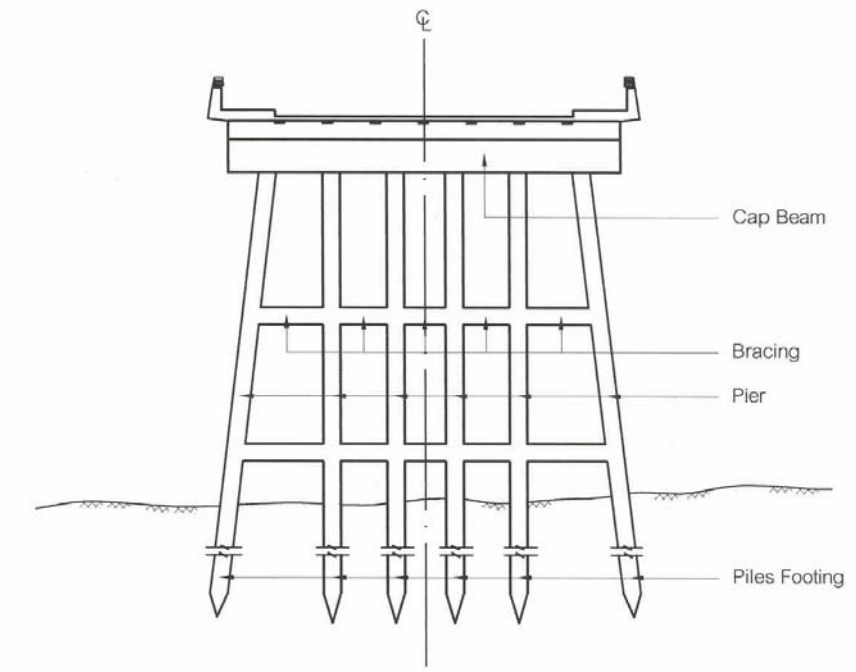
  - พื้นสะพาน Slab Type ตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวง มี 2 แบบ คือ
    (1) แบบคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ (RC. Slab Cast In-Place) โดยการสร้างนั่งร้านและประกอบแบบรองรับงานเทแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทั่วไปใช้ในกรณีที่ไม่สะดวกที่จะขนย้ายแผ่นพื้นสำเร็จ (Plank Girder) เข้ามายังหน้างาน
    (2) แบบแผ่นพื้นสำเร็จรูป (Plank Girder) ซึ่งเป็นวิธีการที่สะดวก และรวดเร็ว โดยการวางแผ่นพื้นสำเร็จบนคานรับพื้นระหว่างตอม่อ แล้วเทคอนกรีตเสริมเหล็กปิดทับบนแผ่นพื้นสำเร็จ เป็นผิวจราจรโดยไม่ต้องก่อสร้างนั่งร้านรองรับ ซึ่งเป็นการประหยัด ทั้งเวลาและราคาค่าก่อสร้าง
  - พื้นสะพาน Multi - Beam หรือ Box Beam Type เป็นการเทคอนกรีตเสริมเหล็กปิดทับบน Multi - Beam หรือ Box Beam ซึ่งพาดบนคานระหว่างตอม่อเป็นผิวจราจร
  - พื้นสะพาน Girder Type เป็นการเทคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นผิวจราจรบน I-Beam ซึ่งพาดบนคานระหว่างตอม่อ โดยมีคานซอย (Cross Beam) เป็นตัวยึด I-Beam

- ทางเท้า และราวสะพาน เป็นงานประกอบเพื่อความเรียบร้อยและทำหน้าที่ตามวัตถุประสงค์ของแต่ละส่วน ซึ่งต้องการความประณีตเรียบร้อย

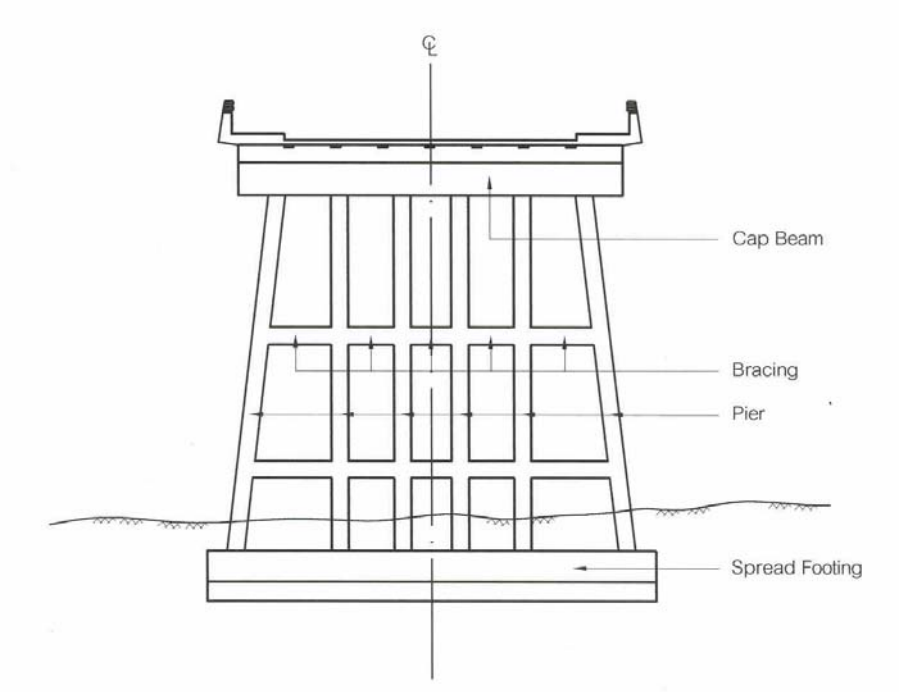
1.4.2.2 โครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) หมายถึง ส่วนที่รองรับ (Support) โครงสร้างส่วนบนโดยทั่วไป ได้แก่

1.4.2.2.1 คานรับพื้น (Cap Beam)

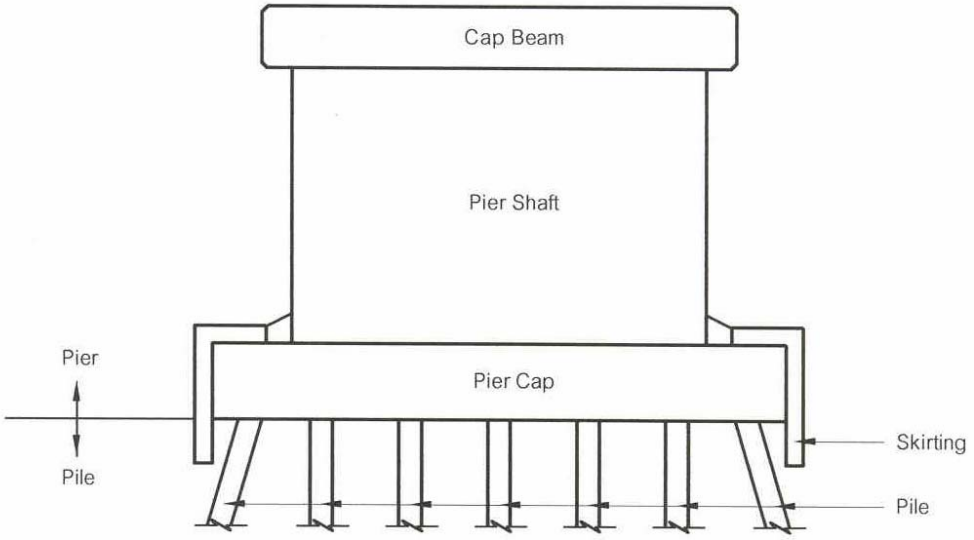
1.4.2.2.2 ตอม่อ (Pier หรือ Pier Shaft)



รูปที่ 1.7 Substructure และ ฐานรากของตอม่อเสาเข็มตอก (Piles Footing)



รูปที่ 1.8 Substructure และ ฐานรากของตอม่อฐานแผ่ (Spread Footing Foundation)



รูปที่ 1.9 Substructure และ ฐานรากของสะพาน PC. Box Girder Span 20.00 m.

1.4.2.3 ฐานราก (Foundation) หมายถึง ส่วนล่างสุดของโครงสร้างทำหน้าที่รับน้ำหนักทั้งหมดของโครงสร้างส่วนที่อยู่ข้างบน แบ่งออกเป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับชนิดและชั้นของดินที่รองรับฐานรากนั้นอยู่ จัดเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ ฐานรากตื้น (Shallow Foundation) คือ ฐานรากที่มีความลึกจากระดับดินเท่ากับหรือน้อยกว่าส่วนกว้างของฐานราก และ ฐานรากลึก (Deep Foundation) คือ ฐานรากที่มีความลึกจากระดับดินมากกว่าส่วนกว้างของฐานราก

ชนิดของฐานรากที่จะเลือกใช้ต้องสอดคล้องกับสภาพพื้นที่ และคุณสมบัติของดินฐานราก เช่น กรณีที่ดินเดิมเป็นดินดานแข็ง หรือ พื้นที่เป็นหินพืดไม่สามารถตอกเสาเข็มได้ ก็จำเป็นจะต้องเลือกใช้ฐานแผ่ ถ้าดินเดิมเป็นดินอ่อนหรือสภาพพื้นที่ไม่เหมาะสมที่จะทำฐานแผ่ เช่น มีน้ำขังก็จำเป็นที่จะต้องเลือกใช้ฐานรากเสาเข็ม นอกจากนี้ยังมีฐานรากชนิดอื่นที่เลือกใช้ในงานก่อสร้างสะพาน คสล. อีกหลายชนิด การเลือกใช้ชนิดของฐานรากขึ้นอยู่กับเหตุผลและความจำเป็นของสภาพพื้นที่ ฐานรากที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่

1.4.2.3.1 ฐานรากแผ่ (Spread Footing) แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

(1) ฐานรากแบบแพ (Raft Footing)

(2) ฐานรากแบบแยก (Isolated Footing, Pedestal Footing)

1.4.2.3.2 ฐานรากเสาเข็ม (Pile Footing) มีหลายประเภท คือ

(1) เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตหล่อสำเร็จ (Reinforced Concrete Pile)

(2) เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ (Prestressed Concrete Pile)

(3) เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ แบบแรงเหวี่ยง (Spun Concrete Pile)

ฐานรากเสาเข็มเจาะ (Bored Pile) ดำเนินการเป็น 2 วิธี ตามลักษณะดิน

(1) Wet Process ใช้ในกรณีที่มีชั้นทราย หรือน้ำใต้ดิน จำเป็นต้องใช้ของเหลวเพิ่มแรงดันในหลุมเจาะ เพื่อป้องกันไม่ให้ผนังหลุมเจาะพังทลาย โดยทั่วไปใช้ Bentonite หรือ Polymer Base Slurry เป็นตัวป้องกัน ใช้กับเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 600 มิลลิเมตร ขนาดมาตรฐานโดยทั่วไป คือ 800 900 1,000 1,200 และ 1,500 มิลลิเมตร

(2) Dry Process ใช้ในกรณีที่ไม่พบน้ำใต้ดิน ไม่มีปัญหาการพังทลายของผนังหลุมเจาะ จึงไม่จำเป็นต้องใช้ของเหลวป้องกันผนังหลุมเจาะ ใช้กับเสาเข็มเจาะขนาดเล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 600 มิลลิเมตร

ตอม่อ คือ โครงสร้างส่วนล่างของสะพาน (Substructure) ซึ่งก่อสร้างต่อขึ้นมาจากฐานราก (Foundation) เพื่อรองรับโครงสร้างส่วนบน (Superstructure) มีหลายชนิด แต่ที่ใช้กันโดยทั่วไป มีดังนี้

(1) ตอม่อชนิดฐานแผ่ (Spread Footing) ซึ่งก่อสร้างต่อขึ้นมาจากฐานราก ชนิดฐานแผ่ มีทั้งแบบธรรมดา แบบกันซุง และตอม่อตับริมสุด ที่หล่อกำแพงกันดินคอสะพาน และหูช้าง (Wing Wall)

(2) ตอม่อชนิดเสาตับ (Pile Bents) ซึ่งก่อสร้างต่อขึ้นมาจากฐานรากชนิดฐานรากเสาเข็ม หรืออาจจะเป็น Bored Pile ก็ได้ มีทั้งแบบธรรมดา แบบกันซุง และตอม่อตับริมสุด ที่หล่อกำแพงกันดินคอสะพาน และหูช้าง (Wing Wall)

(3) ตอม่อเสากลุ่ม (Pile Group) เป็นตอม่อที่รองรับด้วยกลุ่มของเสาเข็ม โดยหัวเสาเข็มอยู่เหนือน้ำ กลุ่มเสาเข็มจะทำหน้าที่คล้ายขาโต๊ะ หรือเก้าอี้ ซึ่งทำให้โครงสร้างมีเสถียรภาพที่จะรับน้ำหนักหรือแรงที่มากระทำ แต่อย่างไรก็ตามจะต้องพิจารณาเกี่ยวกับพฤติกรรมของ Long Column ด้วย

(4) ตอม่อชนิดบ่อจม (Caisson Type) คือ กล่อง หรือ ถัง หรือ วงบ่อ ซึ่งหล่อด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ปล่อยให้จมลงไปในพื้นท้องน้ำ ณ ตำแหน่งที่กำหนดเป็นตอม่อสะพาน แล้วขุดตักดินที่อยู่ในกล่องออกด้วยเครื่องจักรกล ให้ตัวกล่องจมด้วยน้ำหนักของตัวเองลงไปในชั้นดินข้างล่าง จนได้ระดับแล้วจึงเทคอนกรีตพื้นกล่องด้วยวิธีใต้น้ำ (Underwater Placement) หลังจากนั้นเมื่อคอนกรีตแข็งตัวจึงสูบน้ำออกแล้วดำเนินการก่อสร้างโครงสร้างของตอม่อตามแบบก่อสร้างต่อไป

(5) ตอม่อแบบนอนทราย เป็นตอม่อที่ใช้ไม้กลมหรือไม้ซุงวางเรียงยึดกันเป็นฐานรองรับเสาค้ำสะพาน ซึ่งใช้กันสำหรับสะพานไม้ชั่วคราวโดยทั่วไป

(6) ตอม่อแบบเสาเจาะ (Cast in Drilled Holes) หรืออีกนัยหนึ่งคือ เข็มเจาะ (Bored Piles) ซึ่งเป็นอีกทางเลือกที่จะใช้ตอม่อแบบเสาเจาะ โดยทำการออกแบบตามความเหมาะสม และความจำเป็นของสภาพพื้นที่ หรือรูปแบบของโครงสร้าง

บทที่ 2 การสำรวจ วางแนว และงานระดับ

2.1 ภาพรวมงานสำรวจ วางแนว และงานระดับในเบื้องต้น

2.1.1 สำรวจตำแหน่ง ค่าระดับ หมุดหลักฐาน จัดทำหมุดหลักฐานชั่วคราวไว้ในบริเวณก่อสร้างในตำแหน่งที่ไม่ถูกรบกวนได้โดยง่าย ควรมีการตรวจสอบความถูกต้องของหมุดหลักฐานและปรับแก้โดยวิธีการทำวงรอบ (Close Traverse) อย่างสม่ำเสมอ

2.1.2 ตรวจสอบและกำหนดวางแนวแนวศูนย์กลางทาง เขตทาง ท่อ และตอม่อสะพาน พร้อมทั้งกำหนดค่าระดับหมุดหลักฐาน (Bench Mark) รวมทั้งควรมีการตรวจสอบความถูกต้องของหมุดหลักฐาน และปรับแก้อย่างสม่ำเสมอ ในกรณีที่พบว่าเขตทางคลาดเคลื่อนให้ประสานงานแขวงการทางหรือสำนักงานบำรุงทางเจ้าของพื้นที่ กรณีตำแหน่งโครงสร้างคลาดเคลื่อนจากสภาพความเป็นจริงในสนาม ให้รายงานสำนักฯเจ้าของงาน

2.1.3 จัดทำ Plan และ Profile ของถนน และลำน้ำ ตามสภาพความเป็นจริงในสนาม ระยะห่างจากท่อเหลี่ยมที่เหมาะสม และห่างจากคอสะพานข้างละ 300 เมตร เปรียบเทียบรูปตัดของลำน้ำตามสภาพความเป็นจริงกับรูปตัดใน บ. 4.1 หรือ บ. 4.2 หากคลาดเคลื่อนในสาระสำคัญ ให้รายงานสำนักฯเจ้าของงาน

2.1.4 จัดทำรูปตัดสภาพคันทางเดิม (Existing Cross Section) ทุกระยะ 25.00 ม. 12.50 ม. หรือ 5.00 ม. ตามสภาพความเหมาะสม เพื่อนำมาคำนวณปริมาณงานและรวบรวมไว้เป็นหลักฐานและการดำเนินงานขั้นต่อไป

2.1.5 ตรวจสอบสภาพจริงในสนามเทียบกับแบบก่อสร้าง และความเหมาะสมเป็นไปได้ในการก่อสร้าง อาทิเช่น สภาพในสนามเปลี่ยนไปจากเดิม พื้นที่ข้างเคียงมีน้ำท่วม ระดับน้ำสูงสุด เพื่อพิจารณากำหนดช่องลอด

2.1.6 เก็บค่าตำแหน่งพิกัดของสาธารณูปโภค และสิ่งกีดขวางต่างๆในพื้นที่ก่อสร้าง เช่น เสาไฟฟ้า ต้นไม้ใหญ่ เป็นต้น

2.1.7 ตรวจสอบอุปสรรคในการก่อสร้าง เช่น สาธารณูปโภคต่างๆ กรรมสิทธิ์ที่ดิน และเขตทาง เส้นทางก่อสร้างที่ตัดกับทางรถไฟ ข้ามคลองชลประทาน ผ่านป่าสงวน ผ่านเขตทางของส่วนราชการอื่น ผ่านลอดสายไฟฟ้าแรงสูง แล้วติดต่อประสานงานกับส่วนราชการที่เกี่ยวข้องโดยเร็ว

2.1.8 ระหว่างการก่อสร้าง ให้จัดทำป้ายแสดงตำแหน่ง กม. หมายเลขตอม่อสะพานทุกตับ พร้อมแสดงค่าระดับหลังสะพาน ระดับน้ำสูงสุดและความสูงช่องลอด เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบ

2.2 การสำรวจและวางแนว

2.2.1 การเก็บข้อมูลภาคสนามก่อนการก่อสร้าง

2.2.1.1 ระบุตำแหน่งหรือจัดทำหมุดหลักฐานเพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งระบบพิกัด

2.2.1.2 เก็บค่าตำแหน่งของแนวเขตทางเดิม

2.2.1.3 เก็บค่าตำแหน่งของสาธารณูปโภค สิ่งปลูกสร้าง และอุปสรรคต่างๆในพื้นที่ก่อสร้าง

2.2.1.4 จัดทำเครื่องหมายกำกับระยะทางตลอดแนวโครงการฯ

2.2.2 การเตรียมข้อมูลในสำนักงาน

2.2.2.1 จากข้อมูลพื้นฐานทางตำแหน่งที่กำหนดให้ในแบบ จะสามารถคำนวณหาตำแหน่งทางพิกัดของแนวศูนย์กลางการก่อสร้าง เขตทาง หรือตำแหน่งโครงสร้างที่สำคัญ เช่น ตำแหน่งท่อลอด และตอม่อ เป็นต้น

2.2.2.2 ตรวจสอบข้อมูลตำแหน่งที่สำรวจได้จากหน้างานเทียบกับข้อมูลจากแบบก่อสร้าง (ถ้ามี)

2.2.2.3 จัดเก็บข้อมูลต่างๆข้างต้นให้เป็นระบบและสะดวกต่อการใช้งาน เช่น รูปแบบ Digital File

2.2.3 ระหว่างการก่อสร้าง

2.2.3.1 จากการคำนวณพิกัดของตำแหน่งแนวแนวศูนย์กลางการก่อสร้าง เขตทาง ท่อ และตอม่อสะพาน ให้นำค่าพิกัดเหล่านี้ไประบุตำแหน่งลงบนพื้นที่ก่อสร้างให้ชัดเจนและแม่นยำ พร้อมจัดทำเครื่องหมายหรือป้ายกำกับ เช่น ตำแหน่งของเขตทาง ตำแหน่งของท่อลอด ตำแหน่งของตอม่อ ป้ายบอกหมายเลขของตอม่อ เป็นต้น

2.2.3.2 สร้างหมุดอ้างอิงชั่วคราวจากการอ้างอิงจากพิกัดที่ทราบค่า โดยจัดทำบนวัตถุถาวรเพื่อสะดวกในการอ้างอิงต่อไปในอนาคต

2.2.3.3 ถ่ายค่าพิกัดไปยังตำแหน่งที่ใช้อ้างอิงกับโครงสร้างในแต่ละบริเวณ ซึ่งอาจเป็นบนโครงสร้างนั้นๆ พร้อมตรวจสอบจุดอ้างอิงเหล่านี้อย่างสม่ำเสมอ

2.2.3.4 ตรวจสอบตำแหน่งทางพิกัดของทุกโครงสร้าง ในทุกครั้งที่เริ่มงานโครงสร้างใหม่

รูปที่ 2.1 การทำจุดอ้างอิงสำหรับการสำรวจและวางแนวด้วยระบบพิกัด

รูปที่ 2.2 การเขียนเลขระยะทางของโครงการฯ

2.3 งานระดับ

2.3.1 การเก็บข้อมูลภาคสนามก่อนการก่อสร้าง

2.3.1.1 กำหนดค่าระดับหมุดหลักฐาน (Bench Mark) เพื่อใช้อ้างอิง

2.3.1.2 สำรวจค่าระดับตลอดแนวก่อสร้างของโครงการ ทุกระยะ 25.00 เมตร 12.50 เมตร และ 5.00 เมตร สำหรับแนวทางตรง ทางโค้ง และทางโค้งมาก ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของพื้นที่

2.3.1.3 ที่แต่ละหน้าตัดของการเก็บค่าระดับข้างต้น ให้เก็บค่าระดับครอบคลุมตลอดหน้าตัด พร้อมบันทึกระยะทางตามขวางของทุกตำแหน่งที่เก็บค่าระดับที่หน้าตัดนั้นๆ

2.3.1.4 เพื่อให้ได้ภาพของแต่ละหน้าตัดสำหรับนำไปคำนวณพื้นที่หน้าตัดที่ครบถ้วนและถูกต้อง ดังนั้นอย่าละเลยการเก็บค่าระดับของทุกจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความสูง เช่น พื้นถนนเดิม/ขอบทางเท้า เป็นต้น

รูปที่ 2.3 การถ่ายค่าระดับไปไว้ที่หมุดหลักฐานชั่วคราว

รูปที่ 2.4 การเก็บค่าระดับเพื่อจัดทำรูปตัดสภาพคันทางเดิม (Existing Cross Section)

2.3.2 การเตรียมข้อมูลในสำนักงาน

2.3.2.1 จัดทำรูปตัดสภาพคันทางเดิม (Existing Cross Section) ทุกระยะ 25.00 เมตร 12.50 เมตร และ 5.00 เมตร สำหรับแนวทางตรง ทางโค้ง และทางโค้งมาก ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับสภาพความเหมาะสม เพื่อนำมาคำนวณปริมาณงานและรวบรวมไว้เป็นหลักฐานและการดำเนินงานขั้นต่อไป

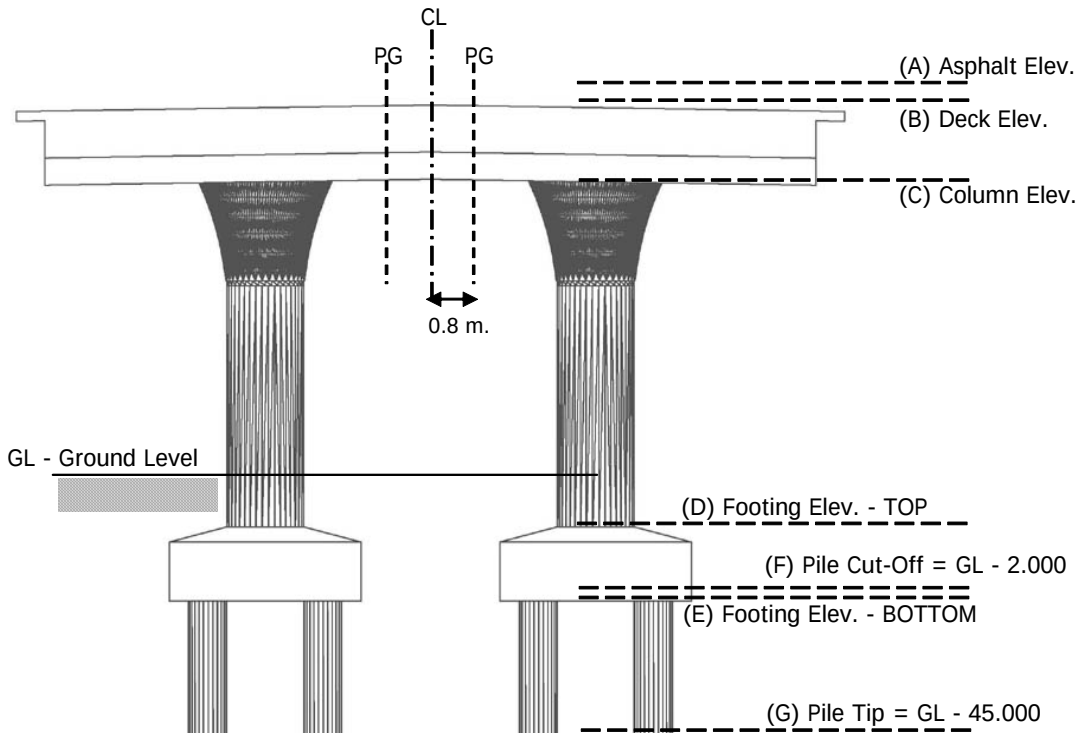
2.3.2.2 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานทางระดับที่ระบุไว้ในแบบ

2.3.2.3 คำนวณค่าระดับของ Profile Grade ทุกระยะ 2 เมตร และ 1 เมตร สำหรับทางลาดที่มีความลาดชันคงที่ และช่วงที่อยู่ในโค้งทางดิ่ง ตามลำดับ

2.3.2.4 คำนวณค่าระดับของ Profile Grade ที่ทุกตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เช่น ตำแหน่งที่วางคาน จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของคานหัวเสา (Deck) จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของพื้นสะพาน และตำแหน่งหัวเสา เป็นต้น

2.3.2.5 ถ่ายค่าระดับที่คำนวณได้ข้างต้น เพื่อคำนวณค่าระดับของตำแหน่งต่างๆบนชั้นโครงสร้างเดียวกัน เช่น ริมซ้าย/ขวา ของพื้นสะพาน เป็นต้น โดยใช้ความลาดเอียงตามขวางหรือ Crown Slope เป็นข้อมูลประกอบการคำนวณ

2.3.2.6 จากความหนาหรือความสูงของโครงสร้างที่กำหนดตามแบบ ทำการคำนวณถ่ายค่าระดับที่คำนวณได้ข้างต้น มายังระดับของแต่ละโครงสร้างที่ต้องการ เช่น ระดับการวางคาน ระดับหัวเสา เป็นต้น โดยจัดทำให้เป็นระบบเพื่อสะดวกต่อการอ้างอิงและตรวจสอบ



รูปที่ 2.5 การเตรียมข้อมูลทางระดับสำหรับโครงสร้างแต่ละส่วน

2.3.3 ระหว่างการก่อสร้าง

2.3.3.1 สร้างหมุดอ้างอิงชั่วคราวจากจุดที่ทราบค่าระดับ โดยจัดทำบนวัตถุถาวร เพื่อสะดวกในการอ้างอิงสำหรับการก่อสร้างในแต่ละบริเวณ

2.3.3.2 ใช้ข้อมูลค่าระดับที่คำนวณได้ในสำนักงาน เป็นข้อมูลประกอบการทำงานระดับของทุกโครงสร้าง โดยตรวจสอบทุกระยะหรือทุกตำแหน่งที่ได้คำนวณไว้

บทที่ 3 สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Bridge)

งานสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Bridge) หรือสะพาน คสล. เป็นงานคอนกรีตเปลือยโดยเมื่อทำการถอดแบบหล่อออกแล้ว ส่วนของโครงสร้างจะได้ขนาด รูปทรง มิติต่างๆ ตรงตามแบบกำหนด โดยไม่มีการตกแต่งฉาบผิวด้วยปูนทราย โครงสร้างที่แล้วเสร็จสมบูรณ์ต้องแข็งแรง ทนทาน สวยงาม ตลอดอายุการใช้งาน

ก่อนดำเนินการใด ๆ นายช่างควบคุมงานต้องพิจารณาตรวจสอบแบบก่อสร้างเปรียบเทียบสภาพจริงในสนาม เกี่ยวกับความยาวของสะพาน ระดับน้ำสูงสุด ระดับน้ำต่ำสุด ช่องลอด ตำแหน่งของตอม่อแต่ละตับ การทำมุมเฉียงกับลำน้ำ และขนาดช่วงสะพานว่า เหมาะสมตามที่สำนักสำรวจและออกแบบ ออกแบบไปหรือไม่ ถ้าเห็นว่าไม่เหมาะสม เช่นสะพานสั้นเกินไป ช่องลอดต่ำ เรือผ่านไม่ได้หรืออื่นๆ ให้รีบรายงานสำนักฯเจ้าของงานโดยด่วน

3.1 การดำเนินงานโครงสร้างส่วนล่าง (Substructures)

3.1.1 ฐานรากสะพาน (Pile Cap or Footing)

ก่อนเริ่มดำเนินการให้ผู้รับจ้างสำรวจและศึกษาทางด้านธรณีวิทยาและอื่นๆ ที่จำเป็น แล้วกำหนดประเภทของฐานรากที่เหมาะสมตามความเห็นชอบของช่างควบคุมงาน ประเภทของฐานราก แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

3.1.1.1 ฐานแผ่ (Spread Footing)

3.1.1.1.1 เหมาะสำหรับหินพืด ดินดาน

3.1.1.1.2 ระดับฐานรากต้องฝังลึกจากท้องคลองอย่างน้อย 2.50 เมตร หรือตามที่กำหนดในแบบก่อสร้าง หากวางฐานรากลึกน้อยกว่า 2.50 เมตร สำหรับตอม่อริมฝั่งต้องฝังให้ระดับฐานราก ลึกใกล้เคียงกับตอม่อกลางน้ำ เพื่อให้พ้นการกัดเซาะของกระแสน้ำ

3.1.1.1.3 ตรวจสอบ Bearing Capacity ต้องไม่น้อยกว่า 10 Ton/m^2 หรือเป็นไปตามแบบกำหนด

3.1.1.1.4 กรณีผู้รับจ้างไม่สามารถขุดดินได้ลึกถึงระดับที่กำหนด ให้รายงานสำนักฯ เจ้าของงาน

3.1.1.1.5 กรณีที่ช่างควบคุมงานเห็นว่าต้องทำการทดสอบการรับน้ำหนักตามรายการในสัญญา ผู้รับจ้างต้องจัดทำโดยทุนทรัพย์ของผู้รับจ้างทั้งสิ้น

3.1.1.1.6 บันทึกระดับฐานรากแต่ละตับ เพื่อรายงานในแบบ บ.4.2 พร้อมระบายสี

3.1.1.1.7 บันทึกลักษณะดินแต่ละชั้น ที่ตรวจพบในการก่อสร้างฐานรากลงในแบบ บ.4.2 โดยละเอียด

3.1.1.1.8 กรณีที่เป็นหินพืดให้เจาะดูความหนาของหินต้องไม่น้อยกว่า 2.00 ม. โดยส่วนของฐานแผ่ ต้องฝังอยู่ในหินพืดไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร

3.1.1.2 ฐานรากชนิดเสาตอก (Driving Pile Footing)

3.1.1.2.1 เหมาะสำหรับดินทั่วๆ ไป

3.1.1.2.2 การตอกเสาเข็ม คสล. และเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง จะต้องใช้เครื่องกว้านยนต์และลูกตุ้มหนักไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักเสาเข็มที่ใช้ตอก แต่อย่างไรก็ตามลูกตุ้มต้องหนักไม่น้อยกว่า 3 ตัน ส่วนเครื่องตอกเสาเข็มชนิด Diesel Hammer อัดลมหรือชนิดอื่นใดให้เสนอรายละเอียดเพื่อขออนุมัติต่อนายช่างโครงการฯ

3.1.1.2.3 การตอกเสาเข็มต้องไม่ให้คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดไว้ในแบบเกินกว่า 7.50 ซม. ตามข้อกำหนด AASHTO ถ้าเกินกว่านี้ให้รายงานสำนักฯเพื่อพิจารณา

3.1.1.2.4 ถ้าตอกเสาเข็ม คสล. หรือเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง จมได้ความลึกน้อยกว่า 4 เมตร จากท้องคลอง หรือระยะที่ลึกไม่พ้นจากการกัดเซาะของกระแสน้ำ ให้รีบรายงานสำนักฯ โดยด่วนพร้อมเสนอความเห็น

3.1.1.2.5 กรณีตอกเสาเข็มผ่านชั้นดินแข็งหรือทราย หรือดินปนทราย ให้ใช้ความระมัดระวังให้มาก เพราะเสาเข็มอาจหักได้ง่าย กรณีต้องตอกเสาเข็มอย่างรุนแรง (Hard Driving) ควรเสริมหัวเสาเข็ม โดยใช้เหล็กแผ่นขนาดประมาณ 1/8x1½ ทำเป็นปลอกรัดหล่อฝังเสมอกับผิวนอกของหัวเสาเข็มวางห่างกันประมาณ 15 ซม. ภายในระยะ 1.50 ม. จากหัวเสาเข็ม

3.1.1.2.6 ห้ามนำเสาเข็มที่มีรอยแตกร้าวไปทำการตอกเป็นอันขาด

3.1.1.2.7 การหาความยาวเสาเข็มก่อนทำการก่อสร้าง

(1) ตรวจสอบข้อมูลการก่อสร้างเสาเข็มในพื้นที่ใกล้เคียงสถานที่ก่อสร้าง

(2) เจาะสำรวจสภาพชั้นดินเพื่อทำ Boring Log อย่างน้อย 3 แห่ง หรือเท่าจำนวนตอม่อสะพานกรณีสะพานขนาดใหญ่

(3) เจาะสำรวจสภาพชั้นดินบริเวณใกล้เคียงตำแหน่งฐานราก ทดสอบค่า SPT (Standard Penetration Test) เพื่อใช้คำนวณกำลังรับน้ำหนักโดยประมาณของเสาเข็ม การเจาะสำรวจต้องเจาะลึกมากพอ เพื่อทราบความหนาของชั้นดินใต้ปลายเสาเข็ม

(4) คำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มที่แบบกำหนดโดยพิจารณาลักษณะชั้นดินและสมมติความยาวเสาเข็ม ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้ต้องไม่น้อยกว่า 3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้ (Design Load) หรือตามที่วิธีการคำนวณแต่ละวิธีกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น

(5) กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มประกอบด้วยแรงเสียดทานผิวระหว่างเสาเข็มกับชั้นดินแต่ละชั้น และแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม

(6) ตรวจสอบข้อมูล และการคำนวณก่อนเสนอให้สำนักสำรวจและออกแบบพิจารณาให้ความเห็นชอบ ในกรณีเสาเข็มเจาะ

(7) ตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มชนิดเสาเข็มตอกด้วยสูตร Hiley's Formula หรือทดสอบด้วย Static Load Test ทั้งในกรณีเสาเข็มตอก และเสาเข็มเจาะ

3.1.1.2.8 ขณะตอกเสาเข็ม ถ้าปรากฏว่ามีรอยแตกร้าวหรือเสาเข็มหักด้วยเหตุประการใดๆ ก็ตามผู้รับจ้างจะต้องปฏิบัติดังนี้

(1) ในกรณีของเสาเข็ม คสล. ถ้ารอยแตกร้าวเกิดขึ้นที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของเสาเข็มเหนือระดับน้ำหรือระดับดิน ให้สกัดส่วนที่แตกร้าวหรือหักออกแล้วหล่อคอนกรีตใหม่ เมื่อครบอายุคอนกรีตแล้วจึงจะทำการตอกต่อไปได้

(2) ในกรณีของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงให้ปรึกษาสำนักฯเจ้าของงาน

(3) ถ้าส่วนแตกร้าว หรือหักอยู่ใต้ระดับน้ำ หรือระดับดิน ให้ทำการถอนเสาเข็มต้นนั้นทิ้ง แล้วนำเสาเข็มต้นอื่นมาตอกใหม่ ถ้าถอนเสาเข็มไม่ได้ ช่างควบคุมงานจะต้องรีบรายงานสำนักฯ พร้อมความเห็นโดยด่วนเพื่อพิจารณาและสั่งการ

(4) บันทึกระดับปลายเสาเข็มในแบบ บ 4.2 และรายละเอียดในการตอกเสาเข็มในแบบ ก. 1 รวบรวมนำส่งสำนักฯเจ้าของงาน

3.1.1.3 ฐานรากชนิดเสาเข็มเจาะระบบเจาะแห้ง (Dry Process Bored Pile)

งานก่อสร้างในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด ย่านชุมนุมชน งานก่อสร้างชิดอาคารเดิม หรือมีปัญหาเส้นทางลำเลียงวัสดุที่จำกัด จำเป็นที่จะต้องใช้เสาเข็มเจาะ เนื่องจากสามารถทำได้ในที่แคบ และชิดอาคารเดิมได้ ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคารข้างเคียง ขนาดและความยาวของเสาเข็มเจาะสามารถผลิตได้ตามข้อกำหนดการรับน้ำหนักของวิศวกรผู้ออกแบบหรือตามสภาพชั้นดินของภูมิภาคนั้น ปัจจุบันนี้เสาเข็มเจาะเป็นที่นิยมใช้ทั่วไป เนื่องจาก

สามารถทำได้ทุกสภาพพื้นที่ทั่วประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหมาะกับการก่อสร้างในเขตชุมชน ที่ไม่ต้องการให้เกิดแรงสั่นสะเทือน เสาเข็มเจาะขนาดเล็กที่ใช้กันทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35, 40, 50 และ 60 เซนติเมตร ความยาวของเสาเข็มตามสภาพดินและข้อกำหนดการรับน้ำหนักบรรทุก ความลึกควรถึงระดับชั้นทราย เสาเข็มเจาะขนาดเล็กทำในระบบเจาะแห้ง (Dry Process) เสาเข็มชนิดนี้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ขนาดเล็ก ไม่ยุ่งยากเคลื่อนย้ายได้สะดวกและไม่ต้องการบริเวณทำงานมากนัก ใช้ในกรณีที่กำหนดไว้ในแบบหรือกรณีที่ไม่สามารถใช้ฐานรากชนิดเสาตอกได้ ทั้งนี้ต้องใส่เหล็กเสริมอย่างน้อย 1 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าตัด ตลอดความยาวของเสาเข็ม และต้องเสนอรูปแบบพร้อมรายการคำนวณ ให้สำนักสำรวจและออกแบบพิจารณาให้ความเห็นชอบเป็นลายลักษณ์อักษรก่อนทำการก่อสร้าง

เสาเข็มเจาะระบบเจาะแห้ง (Dry Process) ในสภาพดินบางแห่งเมื่อเจาะแล้วไม่พบน้ำใต้ดิน หรือเป็นชั้นทรายอัดตัวแน่นไม่เกิดการพังทลายของผนังหลุมเจาะ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ของเหลวป้องกันผนังหลุมเจาะ อุปกรณ์หลักประกอบด้วย ขาหยั่งเหล็ก 3 ขา ปลายบนติดรอกเดี่ยว เรียกสั้น ๆ ว่า Tripod Rig ใช้เครื่องอัดลมเป็นเครื่องจักรกลหลักในการเจาะ ยก ดึง หรือถอดปลอกเหล็ก มีขั้นตอนปฏิบัติควบคุมดังนี้

<u>ก่อนเจาะ</u>

(1) ตรวจสอบศูนย์กลางของตำแหน่งเสาเข็มและขนาดให้ได้ตามแบบ
(2) ตรวจสอบความมั่นคงของจุดยืนของเครื่องเจาะและทางสำหรับรถลำเลียงดินออก
(3) ตรวจสอบระยะห่างของหลุมที่จะเจาะใหม่กับหลุมของเสาเข็มที่เทคอนกรีตเสร็จใหม่ ๆ ต้องมีระยะห่างมากพอไม่ทำให้เกิดความเสียหาย
(4) ตรวจสอบสภาพและรอยต่อของปลอกเหล็ก ในกรณีที่ช่วงแรกของการขุดเจาะมักพบเป็นดินอ่อนต้องใส่ปลอกเหล็ก (Steel Casing) เพื่อป้องกันดินส่วนบนพังและใช้หัวขุดเจาะแบบสว่าน (Auger Type)

<u>การเจาะ</u>

(1) เมื่อจัดเครื่องมือเข้าศูนย์กลางเสาเข็มเจาะแล้วใช้กระเช้า (Boring Tackle) เจาะนำเป็นหลุมลึกประมาณ 1.00 เมตร เรียกว่า Pre – Bored
(2) ตอกปลอกเหล็ก (Casing) ซึ่งโดยปกติจะทำเป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 1.20 เมตร ถึง 1.30 เมตร ต่อกันด้วยเกลียวลงไปในรูเจาะด้วยความระมัดระวังอย่าให้ปลอกเหล็กเอียงให้ตั้งอยู่ในแนวดิ่งจนกระทั่งถึงชั้นดินแข็งปานกลาง (Medium Clay) ในบริเวณกรุงเทพมหานคร อยู่ในชั้นลึกประมาณ 12.00 – 15.00 เมตร

(3) เจาะเอาดินออกโดยใช้กระเช้าชนิดที่มีลิ้นที่ปลาย อาศัยน้ำหนักของตัวมันเอง เมื่อกระเช้าถูกทิ้งลงไปในรูเจาะ ดินจะถูกอัดเข้าไปอยู่ในกระเช้าและจะไม่หลุดออกเพราะมีลิ้นกั้นอยู่เวลายกขึ้นมา ทำซ้ำเช่นนี้จนกระทั้งดินถูกอัดเต็มกระเช้าจึงนำขึ้นมาเทออก การเจาะเช่นนี้จะดำเนินไปถึงชั้นดินทรายชั้นแรก ซึ่งในกรุงเทพมหานครอยู่ในชั้นความลึกประมาณ 18.00 – 23.00 เมตร และตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ของหลุมเจาะ

(4) ตรวจสอบแนวดิ่งของปลอกเหล็กตลอดเวลาขณะตอก

(5) ตรวจสอบและวัดความลึกของชั้นดินในหลุมเจาะที่เปลี่ยนไประหว่างการขุดเจาะ

(6) สังเกตการพังของดินผนังหลุมเจาะ และห้ามนำดินที่ขุดขึ้นมากองไว้ข้างหลุม

(7) ตรวจสอบก้นหลุม และทำให้หลุมเจาะแห้ง (ถ้าหากก้นหลุมมีน้ำใต้ดินซึมเข้าในหลุม) โดยทั่วไปจะใส่ปูนซีเมนต์ผงลงไปซับน้ำให้ก้นหลุมแห้ง

(8) วัดระดับก้นหลุมเจาะ ความลาดเอียง และสภาพของหลุมเจาะเมื่อความลึกของหลุมเจาะได้ตามต้องการ

(9) หย่อนโครงเหล็กที่ผูกเตรียมไว้ตามขนาดและจำนวนที่วิศวกรผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ลงไปจนกระทั่งถึงระดับที่ต้องการ

(10)รีบดำเนินการเทคอนกรีตโดยเร็วอย่าทิ้งหลุมเจาะไว้นาน

<u>การเทคอนกรีต</u>

(1) ตรวจสอบความสะอาดก้นหลุมเจาะก่อนเทคอนกรีต

(2) ตรวจสอบขนาด จำนวน และตำแหน่งของเหล็กเสริมในหลุมเจาะ ให้เป็นไปตามแบบ

(3) ตรวจสอบตำแหน่งและปลายท่อส่งคอนกรีต (Tremie) ต้องไม่ห่างจากก้นหลุมเจาะหรือระดับของคอนกรีตในหลุมเจาะมาก เพื่อป้องกันคอนกรีตแยกตัว

(4) ตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(5) ตรวจสอบระดับของคอนกรีตที่เทได้ในหลุมเจาะแต่ละครั้ง เปรียบเทียบกับปริมาณตามแบบ

(6) ตรวจสอบระยะเผื่อของระดับคอนกรีตหัวเข็ม

(7) 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

(8) เมื่อเทคอนกรีตจนกระทั่งถึงระดับประมาณ 5.00 เมตรจากหลุมเจาะ เริ่มถอนปลอกเหล็กออกเป็นท่อน ๆ ก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว

(9) ดึงปลอกเหล็กขึ้นจากหลุมก่อนคอนกรีตก่อตัว และต้องระวังมิให้ปลอกเหล็กเกี่ยวเหล็กเสริมขึ้นมา

(10) เมื่อถอนปลอกเหล็กขึ้น คอนกรีตจะยุบตัวลงตามปริมาณความหนาของปลอกเหล็กที่ใช้รวมกับการอัดตัวของคอนกรีตแน่น ดังนั้น เข็มเจาะทุกต้นจึงควรเทคอนกรีตให้สูงกว่าระดับหัวเข็มตามแบบเผื่อไว้ด้วย หากพบว่าคอนกรีตยุบตัวลงไปต่ำกว่าระดับที่ต้องการ จะต้องเติมคอนกรีตจนพอก่อนที่จะถอนปลอกเหล็กออกหมด

ตารางที่ 3.1 ขนาดเสาเข็มเจาะ และความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยในเขตกรุงเทพฯ

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

<u>หมายเหตุ</u>

1) ความยาวของเสาเข็มเปลี่ยนแปลงได้ตามคุณสมบัติของชั้นดิน ค่าการรับน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการ จะทำการเจาะสำรวจดิน Soil Investigation ก่อนที่จะลงมือทำเสาเข็มเจาะ
2) ระดับความลึกและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มเจาะในตารางเป็นค่าโดยประมาณของพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล

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

3.1.2 คานยึด (Bracing)

3.1.2.1 ตรวจสอบตำแหน่งแนวก่อสร้าง ระยะช่วง (Span) ศูนย์กลางของฐานราก และศูนย์กลางเสาตอม่อ

3.1.2.2 ตรวจสอบความสูงของเสาตอม่อจากท้องคลองถึงท้องคานหัวเสา (Cap Beam) หากสูงเกินกว่า 3.00 เมตร ต้องก่อสร้างคานยึด

3.1.2.3 กรณีเสาเข็มที่ตอกหนีศูนย์ ต้องขยายขนาดความกว้างคานยึด ให้ครอบคลุมเสาเข็มทั้งตับ ห้ามดัดเสาเข็มเข้าหาแนวคานยึด

3.1.2.4 ตรวจสอบและกำหนดระดับท้องคานยึด เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดหัวเสาเข็ม

3.1.2.5 ควบคุมการตัดคอนกรีตหัวเสาเข็ม โดยขีดเส้นแนวให้ชัดเจนก่อนใช้ใบตัดคอนกรีตตัดให้รอบหัวเสาเข็ม ทำการทุบหัวเสาเข็มส่วนเกินออก

3.1.2.6 ตรวจสอบการดำเนินการก่อสร้างนั่งร้าน ค้ำยัน และไม้แบบที่จะใช้หล่อคอนกรีตต้องอยู่ในสภาพสมบูรณ์และมีปริมาณเพียงพอและต้องใช้น้ำมันทาแบบที่ผ่านการเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานแล้วว่า จะไม่มีผลกระทบกับคุณภาพของคอนกรีตและไม่ทำให้ผิวคอนกรีตเสียหายหรือไม่สวยงามเมื่อถอดแบบก่อสร้าง

3.1.2.7 ตรวจสอบชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่งของเหล็กเสริมต่างๆ ให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างกำหนด และได้ระยะ Covering

3.1.2.8 การเชื่อม ต่อทาบ ดัดงอ การผูกเหล็กเสริมต้องเป็นไปตามหลักวิชาการ หรือตามที่แบบก่อสร้างกำหนดไว้

3.1.2.9 เหล็กเสริมต้องไม่มีสนิมขุม เปื้อนน้ำมัน คราบโคลน หากมี ให้ดำเนินการแก้ไขก่อนนำไปใช้

3.1.2.10 ตรวจสอบการเข้าแบบหล่อคอนกรีต ให้ได้ขนาดและแนวตามแบบก่อสร้าง มีการยึดและค้ำยันที่แข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงจากการกระทำขณะเทคอนกรีต

3.1.2.11 แบบข้างของคานยึด ต้องติดบัวลบเหลี่ยมขนาด 2.0 ซม. ทั้ง 4 มุม

3.1.2.12 ตรวจสอบความเรียบร้อยอื่นๆ ก่อนดำเนินการเทคอนกรีต เช่น ความสะอาด การหนุนลูกปูน การอุดรอยต่อแบบ การเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักร บุคลากร และบริเวณที่จะดำเนินการเทคอนกรีต

3.1.3 เสาตอม่อ (Column)

3.1.3.1 เมื่อเทคอนกรีตคานยึดแล้วเสร็จ ก่อนดำเนินการหล่อเสาต่อไป ต้องตรวจสอบแนวตอม่อ ระยะช่วง (Span) และระยะห่างของเสาแต่ละต้นให้ถูกต้องตามแบบ

3.1.3.2 เหล็กแกนเสา และเหล็กปลอกจะต้องไม่เป็นสนิม คราบโคลน น้ำมัน ถ้ามีจะต้องทำความสะอาดให้เรียบร้อยก่อนนำไปใช้งาน

3.1.3.3 การดัดเหล็ก งอเหล็ก จะต้องเป็นไปตามแบบและข้อกำหนด ห้ามใช้ความร้อนในการดัดเหล็ก

3.1.3.4 ผิวแบบจะต้องเรียบปราศจากคราบสนิม คราบคอนกรีต ถ้ามี ต้องขัดออกแล้วล้างด้วยน้ำก่อนทาน้ำมันทาแบบ

3.1.3.5 ตรวจสอบตำแหน่งของแบบหล่อให้ได้ระยะ ดิ่งและแนวฉากตามแบบก่อสร้าง

3.1.3.6 ตรวจสอบความแข็งแรงของค้ำยัน ถ้าเป็นแบบเหล็กต้องให้ขันน็อตให้แน่นทุกตัว

3.1.3.7 ตรวจสอบระยะหุ้มคอนกรีต (Covering) ให้ถูกต้อง

3.1.3.8 ติดบัวลบเหลี่ยมเสาทุกต้น

3.1.3.9 ตรวจสอบและให้ระดับการหยุดเทคอนกรีตเสาทุกต้น

3.1.3.10 เมื่อตรวจสอบระดับ ขนาด ดิ่ง ฉาก ความสะอาด ระยะ Covering ระยะและจำนวนเหล็กเสริมเรียบร้อยถูกต้องตามแบบและข้อกำหนดแล้ว จึงอนุญาตให้เทคอนกรีตต่อไป

3.1.4 คานหัวเสา (Cap Beam)

3.1.4.1 ตรวจสอบขนาดและระดับของคานหัวเสาหรือคานรับพื้น (Cap Beam) ให้ถูกต้องตามแบบก่อนดำเนินงานขั้นต่อไป

3.1.4.2 กำหนดระดับเสาทุกต้น ตามแบบกำหนด

3.1.4.3 เหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาดไม่มีสนิมขุม คราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ถ้ามีจะต้องทำความสะอาดก่อน

3.1.4.4 ก่อนลงเหล็กเสริมจะต้องทาน้ำมันทาแบบท้องพื้นก่อน

3.1.4.5 การผูกเหล็ก งอเหล็ก ให้เป็นไปตามแบบหรือข้อกำหนดการก่อสร้าง

3.1.4.6 ถ้ามีการต่อทาบเหล็ก จะต้องต่อทาบตามแบบหรือข้อกำหนดและหลักวิชาการ

3.1.4.7 ตรวจชนิด ขนาด จำนวน ระยะห่างของเหล็กเสริมและเหล็กปลอกให้ถูกต้องตามแบบ

3.1.4.8 ตรวจแบบข้างที่จะนำมาใช้ ผิวจะต้องเรียบไม่มีรอยรั่วและอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี

3.1.4.9 ก่อนประกอบแบบข้างจะต้องทาน้ำมันทาแบบให้เรียบร้อยก่อน

3.1.4.10 เมื่อประกอบแบบข้างแล้วตรวจสอบความแข็งแรงของค้ำยันกรณีใช้ Form Tie ให้ขันน็อตให้แน่นทุกตัวและมีจำนวนเพียงพอ

3.1.4.11 ตรวจสอบ ขนาด ตำแหน่ง และระดับหลัง Cap Beam ให้ถูกต้องตามแบบ

3.1.4.12 ตรวจสอบระยะ Covering ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ พร้อมติดบัวลบเหลี่ยม

3.1.4.13 ตรวจอุปกรณ์ที่จะต้องฝังและช่องเจาะต่าง ๆ ให้มีครบถ้วนตามแบบ เช่น บัวลบเหลี่ยม รูเสียบเหล็ก Dowel เป็นต้น

3.1.4.14 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

3.2.1.1 ตรวจสอบขนาดมิติต่างๆ ของแผ่นยางให้เป็นไปตามแบบกำหนด

3.2.1.2 แผ่นยางรองรับพื้นสะพาน ต้องมีความยาวต่อเนื่อง เท่าความกว้างพื้นสะพาน

3.2.1.3 ตรวจสอบคุณสมบัติแผ่นยางรองรับพื้นสะพาน เช่น Hardness ให้เป็นไปตามแบบกำหนด

3.2.2 พื้นสะพานชนิด R.C. Slab Bridge

3.2.2.1 เมื่อก่อสร้างคานตอม่อ (Cap Beam) เสร็จแล้วจึงทำการตรวจสอบและวางแนวต่างๆ เพื่อจะทำการก่อสร้างพื้นสะพาน

3.2.2.2 ตรวจสอบค่ามุม Skew (ถ้ามี) พร้อมตรวจสอบและกำหนดระดับต่างๆ เพื่อติดตั้งแบบสำหรับหล่อคอนกรีตพื้นสะพาน

3.2.2.3 ติดตั้งแบบหล่อพื้นสะพาน ไม้แบบและค้ำยันต่างๆ พร้อมด้วยเครื่องมือเครื่องจักรต้องมีการจัดเตรียมตรวจสอบให้อยู่ในสภาพดีพร้อมใช้งาน และมีปริมาณเพียงพอ

3.2.2.4 พื้นที่และวัสดุที่จะรองรับค้ำยัน นั่งร้าน ต้องมีการเตรียมการเพื่อให้ง่ายต่อการดำเนินการและสามารถรองรับน้ำหนักได้เป็นอย่างดีที่จะไม่ทำให้พื้นทรุดตัวเสียระดับ ต้องมีการตรวจสอบระดับการทรุดตัวขณะเทคอนกรีตด้วย พร้อมมีการวางแผนป้องกันแก้ไข

3.2.2.5 กำหนดและตรวจสอบระยะในการติดตั้งไม้แบบ นั่งร้าน ค้ำยัน การยึดรัดโครงสร้างของแบบหล่อให้มีความแข็งแรงเพียงพอ โดยไม่ทำให้แนวและระดับของพื้นสะพานเปลี่ยนไป

3.2.2.6 ตรวจสอบตำแหน่งช่องเจาะต่างๆ เช่น ช่องหรือท่อร้อยสายไฟฟ้าต่างๆ รวมทั้งขนาดของท่อช่องระบายน้ำ ระยะห่างและการยึดให้มีความแข็งแรงไม่ขยับเลื่อนได้ขณะเทคอนกรีต

3.2.2.7 ก่อนทำการลงเหล็กเสริม ควรตรวจสอบความเรียบร้อยของแบบหล่อพื้นที่ดำเนินการแล้วเสร็จอีกครั้ง เช่น ตรวจสอบแนว ระดับ การยึด นั่งร้านค้ำยัน การติดตั้งบัว ร่องกันน้ำหยด (Water Drip) ให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง

3.2.2.8 กำหนดตำแหน่งและระยะของเหล็กเสริมต่างๆ ให้ชัดเจนและถูกต้องตามแบบก่อสร้าง

3.2.2.9 เหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาดไม่มีสนิมขุม คราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ถ้ามีต้องทำการแก้ไขก่อนนำไปใช้

3.2.2.10 ก่อนลงเหล็กเสริมจะต้องทาน้ำมันทาแบบท้องพื้นก่อน

3.2.2.11 ตรวจสอบการเชื่อม ต่อทาบ ดัดงอและการผูกเหล็กเสริมรวมไปถึงระยะ Covering ให้ได้ตามหลักวิชาการ หรือตามที่แบบก่อสร้างกำหนด

3.2.2.12 ติดตั้งเหล็ก Bar Chair เพื่อให้เหล็กอยู่ในตำแหน่งและให้พื้นได้ความหนาที่ถูกต้อง

3.2.2.13 เหล็กเสริมบริเวณที่จะก่อสร้างทางเท้าและราวสะพานต่อไปนั้น ต้องตรวจสอบจำนวนและลักษณะให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง

3.2.2.14 กำหนดระดับพื้น วางตำแหน่งเหล็กทำระดับพื้น เพื่อใช้ในการปรับแต่งหน้าปูนเวลาเทคอนกรีต เหล็กระดับต้องมีการผูกยึดติดอย่างแข็งแรงและสามารถเอาออกได้สะดวกเมื่อปรับแต่งคอนกรีตได้ระดับแล้ว

3.2.2.15 ตรวจสอบความเรียบร้อยอื่นๆ ก่อนดำเนินการเทคอนกรีต เช่น ความสะอาด การหนุนลูกปูน การอุดรอยต่อแบบ การเตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องจักร บุคลากร และบริเวณที่จะดำเนินการเทคอนกรีต

3.2.3 ทางเท้า ขอบทางและราวสะพาน

3.2.3.1 ตรวจสอบแนว และระดับให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง

3.2.3.2 ตรวจสอบขนาดต่างๆ ของแบบ รวมถึงตำแหน่งที่ติดตั้งให้ถูกต้องตามแบบ

3.2.3.3 ตรวจสอบและควบคุมงานเทคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนด

บทที่ 4 สะพานคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Bridge)

ก่อนดำเนินการใด ๆ นายช่างควบคุมงานต้องพิจารณาตรวจสอบแบบก่อสร้างเปรียบเทียบสภาพเป็นจริงในสนาม เกี่ยวกับความยาวของสะพาน ระดับน้ำสูงสุด ระดับน้ำต่ำสุด ช่องลอด ตำแหน่งของตอม่อแต่ละตับ การทำมุมเฉียงกับลำน้ำ และขนาดช่วงสะพานว่า เหมาะสมตามที่สำนักสำรวจและออกแบบได้ออกแบบไปหรือไม่ ถ้าเห็นว่าไม่เหมาะสม เช่นสะพานสั้นเกินไป ช่องลอดต่ำ เรือผ่านไม่ได้หรืออื่น ๆ ให้รีบรายงานสำนักฯเจ้าของงานโดยด่วน

4.1 การดำเนินงานโครงสร้างส่วนล่าง (Substructures)

4.1.1 ฐานรากสะพาน (Pile Cap or Footing)

ประเภทของฐานราก แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

4.1.1.1 ฐานแผ่ (Spread Footing)

ก่อนเริ่มดำเนินการให้ผู้รับจ้างสำรวจและศึกษาทางด้านธรณีวิทยาและอื่นๆที่จำเป็นแล้วกำหนดประเภทของฐานรากที่เหมาะสมตามความเห็นชอบของนายช่างผู้ควบคุมงาน

4.1.1.1.1 เหมาะสำหรับหินพืด ดินดาน

4.1.1.1.2 ระดับฐานรากต้องฝังลึกจากท้องคลองอย่างน้อย 2.50 เมตร หรือตามที่กำหนดในแบบก่อสร้าง หากวางฐานรากลึกน้อยกว่า 2.50 เมตร สำหรับตอม่อริมฝั่งต้องฝังให้ระดับฐานรากลึกใกล้เคียงกับตอม่อกลางน้ำ เพื่อให้พ้นการกัดเซาะของกระแสน้ำ

4.1.1.1.3 ตรวจสอบ Bearing Capacity ต้องไม่น้อยกว่า 10 Ton/m^2 หรือเป็นไปตามแบบกำหนด

4.1.1.1.4 กรณีผู้รับจ้างไม่สามารถขุดดินได้ลึกถึงระดับที่กำหนด ให้รายงานสำนักฯเจ้าของงาน

4.1.1.1.5 กรณีที่ผู้ควบคุมงานเห็นว่าต้องทำการทดสอบการรับน้ำหนักตามรายการในสัญญา ผู้รับจ้างต้องจัดทำโดยทุนทรัพย์ของผู้รับจ้างทั้งสิ้น

4.1.1.1.6 บันทึกระดับฐานรากแต่ละตับ เพื่อรายงานในแบบ บ.4.2 พร้อมระบายสี

4.1.1.1.7 บันทึกลักษณะดินแต่ละชั้น ที่ตรวจพบในการก่อสร้างฐานรากลงในแบบ บ.4.2 โดยละเอียด

4.1.1.1.8 กรณีที่เป็นหินพืดให้เจาะดูความหนาของหินต้องไม่น้อยกว่า 2.00 ม. โดยส่วนของฐานแผ่ ต้องฝังอยู่ในหินพืดไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร

4.1.1.2 ฐานรากชนิดเสาตอก (Driving Pile Footing)

4.1.1.2.1 เหมาะสำหรับดินทั่วๆ ไป

4.1.1.2.2 การตอกเสาเข็ม คสล. และเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง จะต้องใช้เครื่องกว้านยนต์และลูกตุ้มที่มีน้ำหนักไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักเสาเข็มที่ใช้ตอก และต้องมีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 3 ตัน ส่วนเครื่องตอกเสาเข็มชนิด Diesel Hammer ชนิดอัดลม หรือชนิดอื่นใด ต้องเสนอรายละเอียดเพื่อขออนุมัติต่อนายช่างโครงการฯ

4.1.1.2.3 ควบคุมการตอกเสาเข็มต้องไม่ให้ผิดจากตำแหน่งเสาเข็มที่กำหนดไว้ในแบบ เกินกว่า 7.50 ซม. ตามข้อกำหนด AASHTO ถ้าเกินกว่านี้ให้รายงานสำนักฯเพื่อพิจารณา

4.1.1.2.4 ตรวจสอบความลึกของการตอกเสาเข็ม หากตอกได้ความลึกน้อยกว่า 4.0 เมตรจากท้องคลองหรือท้องฐานราก หรือระยะที่ตอกลึกไม่พ้นจากการกัดเซาะของกระแสน้ำ ให้รายงานสำนักฯเจ้าของงาน

4.1.1.2.5 กรณีตอกเสาเข็มผ่านชั้นดินแข็งหรือทราย หรือดินปนทราย และดินดาน ให้ใช้ความระมัดระวัง เพราะเสาเข็มอาจหักได้ง่าย กรณีต้องตอกเสาเข็มอย่างรุนแรง (Hard Driving) ต้องเสริมเหล็กที่หัวเสาเข็ม โดยใช้เหล็กแผ่นขนาดประมาณ 1/8"x1½" ทำเป็นปลอกรัดหล่อฝังเสมอกับผิวนอกของหัวเสาเข็ม วางห่างกันประมาณ 15 ซม. ภายในระยะ 1.50 ม. จากหัวเสาเข็ม

4.1.1.2.6 ห้ามนำเสาเข็มที่มีรอยแตกร้าวไปทำการตอกเป็นอันขาด

4.1.1.2.7 การหาความยาวเสาเข็มก่อนทำการก่อสร้าง

(1) ตรวจสอบข้อมูลการก่อสร้างเสาเข็มในพื้นที่ใกล้เคียงสถานที่ก่อสร้าง

(2) เจาะสำรวจสภาพชั้นดินเพื่อทำ Boring Log อย่างน้อย 3 แห่ง หรือเท่าจำนวนตอม่อสะพานกรณีสะพานขนาดใหญ่

(3) เจาะสำรวจสภาพชั้นดินบริเวณใกล้เคียงตำแหน่งฐานราก ทดสอบค่า SPT (Standard Penetration Test) เพื่อใช้คำนวณกำลังรับน้ำหนักโดยประมาณของเสาเข็ม การเจาะสำรวจต้องเจาะลึกมากพอ เพื่อทราบความหนาของชั้นดินใต้ปลายเสาเข็ม

(4) คำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มที่แบบกำหนดโดยพิจารณาลักษณะชั้นดินและสมมติความยาวเสาเข็ม ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้ต้องไม่น้อยกว่า 3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้ (Design Load) หรือตามที่วิธีการคำนวณแต่ละวิธีกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น

(5) กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มประกอบด้วยแรงเสียดทานผิวระหว่างเสาเข็มกับชั้นดินแต่ละชั้น และแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม

(6) ตรวจสอบข้อมูล และการคำนวณก่อนเสนอให้สำนักสำรวจและออกแบบพิจารณาให้ความเห็นชอบ ในกรณีเสาเข็มเจาะ

(7) ตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มชนิดเสาเข็มตอกด้วยสูตร Hiley's Formula หรือทดสอบด้วย Static Load Test ทั้งในกรณีเสาเข็มตอก และเสาเข็มเจาะ

4.1.1.2.8 ขณะตอกเสาเข็ม ถ้าปรากฏว่ามีรอยแตกร้าวหรือเสาเข็มหักด้วยเหตุประการใดๆ ก็ตามผู้รับจ้างจะต้องปฏิบัติดังนี้

(1) ในกรณีของเสาเข็ม คสล. ถ้ารอยแตกร้าวเกิดขึ้นที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของเสาเข็มเหนือระดับน้ำหรือระดับดิน ให้สกัดส่วนที่แตกร้าวหรือหักออกแล้วหล่อคอนกรีตใหม่ เมื่อครบอายุคอนกรีตแล้วจึงจะทำการตอกต่อไปได้

(2) ในกรณีของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงให้ปรึกษาสำนักฯเจ้าของงาน

(3) ถ้าส่วนแตกร้าว หรือแตกหักเสียหายอยู่ใต้ระดับน้ำ หรือระดับดิน ให้ทำการถอนเสาเข็มต้นนั้นทิ้ง แล้วนำเสาเข็มต้นอื่นมาตอกใหม่ ถ้าถอนเสาเข็มไม่ได้ ช่างควบคุมงานจะต้องรีบรายงานสำนักฯ พร้อมความเห็นโดยด่วนเพื่อพิจารณาและสั่งการ

(4) บันทึกระดับปลายเสาเข็มในแบบ บ 4.2 และรายละเอียดในการตอกเสาเข็มในแบบ ก. 1 รวบรวมนำส่งสำนักฯเจ้าของงาน

4.1.1.3 ฐานรากชนิดเสาเข็มเจาะ (Bored Pile)

ใช้ในกรณีที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง หรือกรณีที่ไม่สามารถใช้ฐานรากชนิดเสาเข็มตอกได้ ทั้งนี้ ต้องใช้เหล็กเสริมอย่างน้อยร้อยละ 1 ของพื้นที่หน้าตัด ยาวตลอดความยาวของเสาเข็ม และต้องเสนอรูปแบบและรายการคำนวณ ให้สำนักสำรวจและออกแบบเห็นชอบเป็นลายลักษณ์อักษรก่อน

กรณี เสาเข็มเจาะระบบเจาะเปียก (Wet Process) ใช้กับสภาพดินที่มีชั้นทรายและมีระดับน้ำใต้ดินสูง จำเป็นต้องใช้ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (Support Fluid) เพิ่มแรงดันภายในหลุมเจาะ เพื่อป้องกันมิให้ผนังหลุมเจาะพัง เช่น สารละลายเบนโทไนท์ (Bentonite) เป็นต้น ซึ่งมีขั้นตอนการควบคุมงานดังนี้

4.1.1.3.1 ข้อกำหนดทั่วไป

(1) ขนาดและความยาวเสาเข็มเจาะ เป็นไปตามรายละเอียดที่ระบุในแบบ

(2) วัสดุที่ใช้เป็นไปตามรายละเอียดในแบบ

(3) วิธีการเจาะให้ใช้ปลอกเหล็กชั่วคราว (Temporary Casing) เพื่อป้องกันการพังของดินในหลุมหรือปากหลุมขณะเจาะ โดยใช้ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเป็นตัวป้องกันหลุมเจาะพังทลาย

(4) เสาเข็มเจาะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กตามแบบซึ่งหล่อในที่ก่อสร้าง

(5) ผู้รับจ้างต้องเสนอรายละเอียดวิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะประกอบด้วย ระยะเวลาและวิธีการใส่โครงเหล็ก ภายหลังจากเจาะดินจนถึงปลายเสาเข็ม ระยะเวลาและวิธีการกำจัดตะกอนก้นหลุม ระยะเวลาในการเทคอนกรีต วิธีการตรวจสอบตะกอนก้นหลุม รายละเอียดวัสดุ Shop Drawing และอื่นๆ เพื่อให้วิศวกรผู้ควบคุมงานและผู้ออกแบบอนุมัติ 7 วันก่อนทำเสาเข็มต้นแรก อย่างไรก็ตามผู้รับจ้างและวิศวกรผู้ควบคุมงานอาจจะร่วมกันพิจารณาทบทวนวิธีการดังกล่าวเพื่อปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพจริง เพื่อให้คุณภาพเสาเข็มดีขึ้น และขออนุมัติต่อวิศวกรผู้ออกแบบ หลังจากดำเนินการก่อสร้างเสาเข็มต้นแรกแล้ว ผู้รับจ้างต้องนำเสนอเหตุผลในการเสนอเปลี่ยนแปลงนี้

4.1.1.3.2 วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

(1) ปลอกเหล็กเพื่อป้องกันดินข้างหลุมพังทลาย

- เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (เฉลี่ยจากการวัด 3 ครั้ง ซึ่งทำมุมระหว่างกัน 120 องศา) ของปลอกเหล็ก ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดในแบบ
- ก่อนดำเนินการก่อสร้างผู้รับจ้างต้องเสนอความยาวของเหล็กปลอกที่ใช้เพื่อขออนุมัติต่อวิศวกรผู้ควบคุมงานและผู้ออกแบบ
- กรณีการต่อปลอกเหล็ก ต้องเรียบร้อยและแน่นหนา และได้แนวตรงตลอดความยาวของเหล็กปลอก
- ความหนาของเหล็กปลอกต้องเพียงพอสำหรับการขนส่งและการทำงาน โดยผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติคุณสมบัติของเหล็กปลอกก่อนนำมาใช้งาน
- ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบต่อการป้องกันการพังทลายของดินบริเวณที่ขุดทั้งก่อนที่จะเทคอนกรีต จนกระทั่งคอนกรีตแข็งตัว

- กรณีที่ดินข้างในปลอกเหล็กเกิดการพังทลายบางส่วนหรือทั้งหมด ในระหว่างการขุดหรือภายหลังการขุดแล้วเสร็จ ผู้รับจ้างต้องแจ้งให้วิศวกรผู้ควบคุมงานทราบทันที พร้อมเสนอแนวทางแก้ไข และวิธีในการซ่อมแซมแก้ไขต้องปฏิบัติตามข้อแนะนำหรือคำสั่งของวิศวกรผู้ควบคุมงาน ค่าใช้จ่ายใดๆอันเกิดจากผลดังกล่าว ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบเอง ไม่สามารถเรียกร้องจากผู้ว่าจ้างได้ นอกจากนี้ ผู้รับจ้างต้องเสนอรายงาน บันทึกรายละเอียดของการพังทลายและวิธีการแก้ไข ถึงวิศวกรผู้ออกแบบด้วย

(2) คอนกรีตที่ใช้ในงานเสาเข็มเจาะ

- ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 หรือเป็นไปตามแบบกำหนด
- กำลังอัดของแท่งคอนกรีตลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. จะต้องไม่น้อยกว่า 30 MPa. (หรือประมาณ 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 และหากเป็นวัสดุที่ไม่เคยใช้และไม่มีข้อมูลที่เพียงพอต้องทดลองทำแท่งตัวอย่างอย่างน้อยจำนวน 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 ต้องเทต่อเนื่องโดยจะหยุดชะงักนานเกินควรไม่ได้ กรณีที่หยุดนานเกินควร วิศวกรผู้ควบคุมงานมีความเห็นว่าเสาเข็มต้นนั้นเป็นเสาเข็มชำรุด ผู้รับจ้างต้องนำเสนอวิธีการแก้ไขและรับผิดชอบต่อค่าใช้จ่ายทั้งหมด

(3) เหล็กเสริมรับแรง

- เหล็กข้ออ้อยทุกขนาดใช้ SD 40 ตามมาตรฐาน มอก.24 หรือตามที่ระบุไว้ในแบบ
- เหล็กกลมทุกขนาดใช้ SR 24 ตามมาตรฐาน มอก.20 หรือตามที่ระบุไว้ในแบบ
- รอยเชื่อมเหล็กและวิธีการต่อเหล็ก ต้องเสนอให้วิศวกรผู้ควบคุมงานตรวจพิจารณาและอนุมัติ
- ข้อกำหนดต่างๆให้ถือตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กฉบับที่ 1007-34 ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
- ขณะหล่อคอนกรีต ผู้รับจ้างต้องป้องกันและระวังอย่าให้เหล็กเสริมเคลื่อนตัวผิดตำแหน่ง
- ระยะหุ้มผิวนอกสุดของเหล็ก (Concrete Covering) จะต้องไม่น้อยกว่า 7.5 เซนติเมตร
- ระยะเรียงถึงผิวของเหล็กยืนจะต้องไม่น้อยกว่า 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก หรือ 3 เท่าของขนาดหินใหญ่สุด
- เหล็กเสริมยืนและเหล็กปลอก ให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- การเสริมเหล็กยืน ต้องให้ปลายของเหล็กอยู่ที่ระดับสูงกว่า Pile Cut-off ไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม หรือเป็นไปตามแบบกำหนด
- ระยะต่อทาบเหล็กต้องไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม และต้องผูกยึดเชื่อมแน่นติดกัน

(4) ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (Support Fluid)

- ต้องเสนอชนิดวัสดุและรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวกับของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเพื่อให้วิศวกรพิจารณาและอนุมัติก่อนนำมาใช้งาน
- ตารางที่ 4.1 แสดงการทดสอบคุณสมบัติของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ
- ในระหว่างการก่อสร้างจะต้องรักษาระดับของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะที่อยู่ในปลอกเหล็กกันดินพังหรือในหลุมเจาะที่มีเสถียรภาพให้สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินไม่น้อยกว่า 2 เมตร ตลอดเวลาการก่อสร้างเสาเข็มเจาะต้นนั้น (เว้นแต่จะระบุเป็นอย่างอื่นในข้อกำหนดเฉพาะงาน) ในขณะทำการเจาะต้องเติมอยู่เสมอ เพื่อรักษาระดับของเหลวในหลุมเจาะให้คงที่

ตารางที่ 4.1 การทดสอบคุณสมบัติของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ

คุณสมบัติที่ต้องทดสอบ	**วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ**	**API RP 13 Section**	**ทดสอบคุณสมบัติที่อุณหภูมิ 20 °c**	
			เมื่อเติมลงในหลุมเจาะ	ตัวอย่างเก็บจากก้นหลุมเจาะก่อนเทคอนกรีต
Density for Bentonite for Polymer	Mud Balance	1	 Maximum 1.10 g/ml Maximum 1.02 g/ml	 Maximum 1.15 g/ml Maximum 1.02 g/ml
Fluid Loss (30 minute test) for Bentonite and Polymer	Low Temperature Test	3	Maximum 30 ml	Maximum 40 ml
Viscosity for Bentonite for Polymer	Marsh Cone Test	2	 30 – 45 second 40 – 90* second	 30 – 55 second 40 – 90* second
Shear Strength (10 minute gel) for Bentonite only	Fan Viscosmeter	2	4 – 40 N/m^2	4 – 40 N/m^2
Sand Content for Bentonite for Polymer	Sand Screen	4	 Maximum 3% Maximum 1%	 Maximum 3% Maximum 1%
pH, during excavation for Bentonite for Polymer	Electric pH Meter or Lismas Paper		 9.5 – 10.8 8.0 – 10.0	 9.5 – 11.7 8.0 – 11.0

* or as recommended by manufacturer and approved by Geotechnical Engineer.

(5) ท่อเทคอนกรีต (Tremie Pipe)

- ท่อเทที่นำมาใช้ ต้องส่งรายละเอียด เช่น ขนาดท่อ วิธีต่อท่อ วิธีป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในท่อ ความยาวของท่อแต่ละช่วง เสนอต่อวิศวกรผู้ควบคุมงานพิจารณาอนุมัติก่อนนำมาใช้งาน
- ท่อเททุกท่อน ต้องมีหมายเลขกำกับ เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความยาวและการตัดต่อท่อ และการชักท่อขึ้นจากคอนกรีต
- ท่อเททุกท่อน ต้องแข็งแรง ป้องกันน้ำได้ และรอยต่อต้องอยู่ในสภาพดี สามารถถอดหรือต่อได้โดยสะดวกขณะทำการเทคอนกรีต
- วิศวกรผู้ควบคุมงานมีสิทธิเปลี่ยนท่อเทได้ เมื่อมีความเห็นว่าใช้การไม่ได้
- ผู้รับจ้างต้องจัดให้มีท่อเทสำรองไว้ พร้อมที่จะนำมาใช้ได้ทันทีเมื่อจำเป็น
- ขณะเทคอนกรีต ปลายท่อเทต้องจมอยู่ในเนื้อคอนกรีตไม่น้อยกว่า 3.0 เมตร เพื่อป้องกันมิให้ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะแทรกเข้าไปในเนื้อคอนกรีต (ในทางปฏิบัติพบว่า ระยะฝังปลายของปลายท่อเทให้จมอยู่ในคอนกรีตประมาณ 2 เมตร เป็นความยาวที่เพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้คอนกรีตที่เทลงไปเกิดการผสมกับของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ)
- การใช้ Plug กั้นคอนกรีตเพื่อไล่ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะออกจากท่อเท ต้องเสนอวัสดุและวิธีการให้วิศวกรผู้ควบคุมงานพิจารณาอนุมัติก่อนใช้งาน

4.1.1.3.3 ค่าผิดพลาดที่ยอมให้ของเสาเข็มเจาะ

(1) ค่าผิดพลาดในแนวดิ่งจะต้องไม่เกิน 1: 100 ของความลึกเสาเข็ม

(2) ระยะมากที่สุดที่ยอมให้เสาเข็มผิดตำแหน่งจากที่กำหนดไว้ในแบบต้องไม่เกิน 7.5 เซนติเมตร โดยวัดขนานกับแกน Co-Ordinate ทั้งสองแกน โดยวัดที่ระดับตัดหัวเสาเข็ม (Pile Cut-Off)

4.1.1.3.4 เสาเข็มเจาะชำรุด

เสาเข็มเจาะจะถือว่าชำรุดเมื่อ

(1) กำลังอัดของคอนกรีตแท่งตัวอย่าง ต่ำกว่าที่ระบุไว้ในแบบหรือข้อกำหนด

(2) ความยาวของเสาเข็มเจาะไม่ได้ตามที่ระบุไว้ในแบบ หรือตามที่วิศวกรผู้ออกแบบ หรือตามที่วิศวกรผู้ควบคุมงานกำหนด

(3) การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ไม่ได้ตามที่แบบกำหนด

(4) จากการทดสอบหรือการสังเกตของวิศวกรผู้ควบคุมงาน มีความเห็นว่า เสาเข็มมีสภาพที่ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่แบบกำหนด หรือวิศวกรผู้ออกแบบมีความเห็นว่า เสาเข็มชำรุด เนื่องจาก วิธีการเจาะ การเทคอนกรีต ไม่ถูกต้อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าที่แบบกำหนด หรือมีสิ่งแปลกปลอมแทรกอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต เช่น ดิน ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ หรือลักษณะของคอนกรีตมีการแยกตัว

4.1.1.3.5 การแก้ไข ซ่อมแซม เสาเข็มเจาะชำรุด

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

4.1.1.3.6 รายงานการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ

ผู้รับจ้างต้องทำรายงานการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ นำส่งให้วิศวกรผู้ควบคุมงาน ภายใน 24 ชั่วโมง นับหลังจากเทคอนกรีตแล้วเสร็จ ข้อมูลในรายงานประกอบด้วย

(1) วันที่และเวลา ที่เริ่มติดตั้งปลอกเหล็ก เริ่มเจาะดิน และเทคอนกรีต

(2) หมายเลขกำกับตำแหน่งของเสาเข็ม

(3) ระดับดินเดิม และปากปลอกเหล็ก

(4) ระดับหัวเสาเข็ม และตัดเสาเข็ม (Pile Cut-off)

(5) ระดับปลายเสาเข็ม (Pile Tip, Pile Toe)

(6) ระดับชั้นดินแน่น ทราย หรือหิน

(7) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะ

(8) ตำแหน่ง และค่าความคลาดเคลื่อนจากที่กำหนดในแบบ

(9) ความยาวของปลอกเหล็ก

(10) รายละเอียดของชั้นดินที่เจาะลงไป

(11) ผลการตรวจสอบคุณสมบัติของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ

(12) ปริมาณคอนกรีตที่ใช้เท พร้อมกราฟเปรียบเทียบกับความลึก

(13) เวลาเริ่ม และเวลาแล้วเสร็จของการเจาะ การใส่โครงเหล็กและการเทคอนกรีต

(14) รายละเอียดของอุปสรรคและสาเหตุความล่าช้าที่เกิดขึ้น

(15) รายละเอียดความผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงาน

(16) ข้อมูลอื่นๆที่วิศวกรผู้ควบคุมงานต้องการ

รายงานนี้ต้องมีวิศวกรตัวแทนผู้รับจ้างและผู้ควบคุมงานลงนามรับรองทั้งสองฝ่าย

4.1.1.3.7 ระยะช่วงเวลาห่างในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะต้นถัดไป หรือใกล้เคียง

ระยะช่วงเวลาห่างในการก่อสร้างเสาเข็มต้นถัดไปหรือใกล้เคียง ต้องไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง โดยอาศัยผลจากการทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีตตัวอย่างประกอบการพิจารณา หรือระยะห่างระหว่างเสาเข็มที่จะก่อสร้างกับเสาเข็มข้างเคียงทุกต้น ต้องไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม

4.1.1.3.8 หลุมเจาะของงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะ

(1) ก้นหลุมเจาะต้องสะอาด แน่นและปราศจากวัสดุที่ไม่เหมาะสม หรือตะกอนในปริมาณมากเกินสมควร หรือวัสดุที่ทำให้อ่อนตัวจนมีกำลังต่ำกว่าค่าของตัวอย่าง ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณหาความลึกของก้นหลุมเจาะ และก้นหลุมเจาะต้องได้ระดับ

(2) ต้องทำความสะอาดก้นหลุมเจาะด้วยวิธีที่แบบกำหนด หรือวิศวกรผู้ควบคุมงานแนะนำ หรือที่ผู้รับจ้างเสนอขออนุมัติต่อวิศวกรผู้ออกแบบ ซึ่งวิศวกรผู้ควบคุมงานได้อนุมัติแล้ว และก่อนทำการเทคอนกรีตต้องได้รับการตรวจสอบและเห็นชอบจากวิศวกรผู้ควบคุมงานก่อน

(3) ผู้รับจ้างต้องจัดหาอุปกรณ์เกี่ยวกับความปลอดภัย ตลอดจนอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ เพื่อให้ตัวแทนผู้ว่าจ้าง วิศวกรผู้ออกแบบและวิศวกรผู้ควบคุมงาน สามารถเข้าไปตรวจงานได้อย่างปลอดภัย

(4) หลังจากเจาะจนถึงระดับที่ต้องการแล้ว วิศวกรผู้ควบคุมงานและผู้รับจ้าง ต้องร่วมกันวัดความลึกตามแนวดิ่งของหลุมเจาะ โดยใช้ลูกดิ่งหรือวิธีการอื่นใดที่วิศวกรผู้ควบคุมงานเห็นชอบ และค่าใช้จ่ายเป็นความรับผิดชอบของผู้รับจ้างทั้งสิ้น

(5) ขณะเทคอนกรีต วิศวกรผู้ควบคุมงานและผู้รับจ้าง ต้องร่วมกันตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะ โดยใช้วิธีคำนวณปริมาตรของคอนกรีตที่เทลงไปกับความลึกของคอนกรีตที่ได้ หรือโดยวิธีอื่นใดที่วิศวกรผู้ควบคุมงานเห็นชอบ

4.1.1.3.9 วิธีการก่อสร้าง

กรณีที่ผู้รับจ้างเป็นผู้เสนอวิธีการทำเสาเข็มเจาะ วิธีที่ผู้รับจ้างเสนอมาบางขั้นตอน วิศวกรผู้ออกแบบหรือวิศวกรผู้ควบคุมงาน มีสิทธิ์สั่งให้แก้ไขหรือเพิ่มเติมเพื่อให้ได้งานที่สมบูรณ์เรียบร้อยและถูกต้อง โดยผู้รับจ้างไม่มีสิทธิ์เรียกร้องค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากการแก้ไขนี้ หลักเกณฑ์ในการพิจารณาและอนุมัติวิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ คือวิธีการก่อสร้างต้องไม่ทำให้เสาเข็มเสียกำลังเนื่องจากคอนกรีตสกปรก หรือจากการลดหน้าตัดของเสาเข็ม หรือปูนซีเมนต์ถูกล้างออกไปหรือจากการชำรุดเสียหายขณะถอนปลอกเหล็กออก หรือเหตุการณ์อื่นๆ รวมทั้งผลกระทบจากการก่อสร้างเสาเข็มข้างเคียงด้วย ถึงแม้ว่าผู้รับจ้างจะทำงานตามขั้นตอนที่เสนอมา หรือตามขั้นตอนที่ได้รับการแก้ไขจากวิศวกรผู้ออกแบบ หรือวิศวกรผู้ควบคุมงานและผู้รับจ้างเห็นชอบด้วยแล้วก็ตาม ความรับผิดชอบและค่าเสียหายต่างๆ ในงานเสาเข็มยังคงเป็นของผู้รับจ้างเพียงผู้เดียวและค่าเสียหายต่างๆ ที่เกิดขึ้น ผู้รับจ้างเป็นผู้จ่ายเพียงผู้เดียว

วิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะทั่วไปให้ถือปฏิบัติดังนี้

(1) การลงปลอกเหล็กผู้รับจ้างจะต้องลงปลอกเหล็กตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ในแบบ และ ระหว่างลงปลอกเหล็กจะต้องตรวจสอบความดิ่งโดยใช้กล้องแนว ลูกดิ่ง หรือระดับน้ำ โดยให้ถือค่าผิดพลาดที่ยอมให้เป็นเกณฑ์

(2) หลังจากกดปลอกเหล็กอยู่ในตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการเจาะดินภายในปลอกเหล็กออกโดยใช้เครื่องเจาะซึ่งติดตั้งบนรถเครน หัวเจาะอาจใช้ Flight Auger หรือ Bucket Type ตามสภาพความเหมาะสม ช่วงบนของเสาเข็มผู้รับจ้างอาจทำการเจาะแบบ Dry Process ได้แต่การเจาะโดยวิธี Dry Process นี้ภาคกลางไม่ควรเจาะ

เกินระดับ 21.00 - 22.00 หรือพ้นชั้น Stiff Clay เพราะจะมีน้ำทะลักเข้ามา เมื่อเจาะถึงขั้นนี้แล้วจะต้องทำการเติมของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ และเมื่อเจาะได้ความลึกเพิ่มขึ้นให้เติมของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเพิ่มขึ้นตามความลึกจนได้ระดับที่กำหนดตามแบบก่อนที่จะชักก้านเจาะ (Kelly Bar) ขึ้น จากนั้นให้ทำความสะอาดก้นหลุม (Cleaning) ด้วย Cleanout Bucket อีกครั้งหนึ่งทั้งนี้ Bucket จะต้องเป็นแบบ One-Way Flap Gate

(3) หลังจากจะชักก้านเจาะ (Kelly Bar) ขึ้นแล้ว ให้ผู้รับจ้างทำการตรวจสอบหลุมเจาะซึ่งมีของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะอยู่เต็มอีกครั้งหนึ่งด้วยลูกดิ่ง เพื่อหาความลึกที่แน่นอน และตรวจสอบการพังทลายของรูเจาะโดยใช้เครื่องมือ หรือวิธีการใดๆที่เหมาะสม การตรวจสอบให้ตรวจสอบไม่น้อยกว่า 4 จุด หากผลการตรวจสอบพบว่ามีการพังทลายของหลุมเจาะ ผู้รับจ้างต้องทำความสะอาดอีกครั้งหนึ่งด้วย Bucket จนแน่ใจว่าก้นหลุมสะอาดและได้ระดับ กรณีที่มีตะกอนเกินกว่าที่ยอมรับได้ ผู้รับจ้างต้องขจัดตะกอนด้วยวิธีที่เหมาะสม ความหนาของตะกอนที่ยอมให้ได้ วิศวกรผู้ออกแบบหรือวิศวกรผู้ควบคุมงานจะกำหนดให้เป็นกรณีไปตามแต่ชนิดของตะกอน

(4) หลังจากตรวจสอบหลุมเจาะเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการหย่อนโครงเหล็กเสริมตัวเสาเข็มตามแบบ และลง Tremie Pipe สำหรับเทคอนกรีต ระหว่างลง Tremie Pipe ให้วัดความยาวเพื่อตรวจสอบความลึกของหลุมเจาะ เมื่อลงท่อแล้วเสร็จให้ตรวจสอบด้านข้างของหลุมเจาะด้วยลูกดิ่งอย่างน้อย 4 จุด หรืออาจใช้วิธีเลื่อนท่อไปรอบๆหลุมเจาะ ส่วนจะใช้วิธีการใดๆขึ้นอยู่กับสภาพความเหมาะสมในระหว่างการทำงาน และการลงโครงเหล็ก หากเกิดการพังทลายต้องดึงโครงเหล็กขึ้นและทำความสะอาด และลงโครงเหล็กใหม่และทำการตรวจสอบอีกครั้งหนึ่ง

(5) เมื่อทำการตรวจสอบก้นหลุมเจาะแล้ว จึงทำการเทคอนกรีตผ่าน Tremie Pipe ซึ่งมี Plug อยู่ในท่อลอยอยู่เหนือของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (Plug อาจใช้ลูกบอลยาง โฟม หรือสารชนิดอื่นใด ที่วิศวกรผู้ควบคุมงานเห็นชอบก่อนนำมาใช้งาน) คอนกรีตเมื่อเทเข้าไปในท่อ จะดัน Plug และของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะออกทางปลายท่อซึ่งจะดันตะกอนก้นหลุมเจาะให้ลอยขึ้นและ

คอนกรีตจะตกลงสู่ก้นหลุมแทนที่ และต้องรักษาให้ปลายท่อฝังอยู่ภายในคอนกรีตตลอดเวลา เมื่อเทคอนกรีตเพิ่มขึ้นจะทำการตัดท่อให้สั้นลง สัมพันธ์กับปริมาตรคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น โดยปลายท่อต้องฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีตอย่างน้อย 3 เมตร ตลอดเวลาการเทคอนกรีตจนกระทั่งแล้วเสร็จ และในการเทคอนกรีตเสาเข็มแต่ละต้นต้องเทอย่างต่อเนื่องจนแล้วเสร็จ

(6) ก่อนลงมือเทคอนกรีตเสาเข็มแต่ละต้น ผู้รับจ้างต้องทำการคำนวณปริมาณคอนกรีตสำหรับเสาเข็มแต่ละขนาดและเขียนออกมาเป็นกราฟ หรือตารางเปรียบเทียบความสูงของคอนกรีตที่เทลงไปในรูเจาะกับปริมาณที่คำนวณได้ เสนอวิศวกรผู้ควบคุมงานก่อน และในระหว่างการเทคอนกรีตจะต้องตรวจสอบปริมาตรคอนกรีตที่เทลงไปจริง และวัดความสูงของคอนกรีตในรูเจาะเป็นระยะๆ เพื่อนำมาเขียนกราฟ หรือตารางเปรียบเทียบที่คำนวณไว้และจากการตรวจสอบนี้จะทำให้สามารถคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางจริงของเสาเข็มได้เป็นระยะๆ การวัดตรวจสอบดังกล่าวนี้จะวัดตรวจสอบกี่ครั้งในเสาเข็มแต่ละต้นแต่ละขนาดให้ผู้รับจ้างหารือกับวิศวกรผู้ควบคุมงานในระหว่างทำงานตามสภาพความเหมาะสม

(7) ระหว่างที่เทคอนกรีตลงในหลุมเจาะ ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะในหลุมจะล้นออกมา ผู้รับจ้างจะต้องทำการสูบนำไปทำความสะอาดตามกรรมวิธีที่เหมาะสมถูกต้องตามหลักวิชาการ ซึ่งวิศวกรผู้ควบคุมงานเห็นชอบ แล้วจึงนำไปเก็บไว้ในที่เก็บรอทำการตรวจสอบคุณสมบัติก่อนที่จะนำไปใช้กับเสาเข็มต้นอื่นๆ

(8) เมื่อเทคอนกรีตจนได้ระดับที่ต้องการแล้ว จึงทำการถอนปลอกเหล็กขึ้น เสาเข็มที่เจาะใหม่จะต้องห่างจากต้นที่เพิ่งทำเสร็จแล้วอย่างน้อย 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มต้นที่ใหญ่กว่า หากเว้นระยะน้อยกว่านั้น จะต้องทิ้งระยะเวลาให้ห่างกันไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง

(9) ระหว่างทำงานหากผู้รับจ้างเห็นว่าควรจะมีการเปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มเติมวิธีการใดๆ เพื่อให้งานมีคุณภาพดีขึ้น ผู้รับจ้างจะต้องเสนอต่อวิศวกรผู้ออกแบบ หรือวิศวกรผู้ควบคุมงานเพื่อเห็นชอบก่อนทุกครั้ง

(10) กรณีที่ผู้รับจ้างเจาะเสาเข็มจนถึงระดับที่ต้องการแล้ว ผู้รับจ้างจะต้องเทคอนกรีตต้นนั้นๆให้เสร็จสิ้นภายในวันนั้นๆ จะทิ้งไว้ข้าม

วันไม่ได้เป็นอันขาด ผู้รับจ้างจะสามารถทิ้งเสาเข็มที่เจาะไว้ข้ามวันไว้ได้ในกรณีเดียว คือยังเจาะไม่ถึงระดับและสามารถพิสูจน์ได้ว่ารูเจาะที่เจาะค้างไว้ไม่เกิดการพังทลาย

(11) ถ้าพบสิ่งกีดขวางในขณะทำเสาเข็มเจาะ เช่น ฐานรากเดิมหรือเสาเข็มเดิม ผู้รับจ้างต้องแจ้งให้วิศวกรผู้ควบคุมงานทราบทันที และร่วมปรึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ

(12) การทดสอบการบรรทุกน้ำหนักของเสาเข็ม ผู้รับจ้างทำเสาเข็มต้องดำเนินการทดสอบขนาดเสาเข็มและความลึกตามกำหนดในแบบก่อสร้างอย่างน้อยจำนวน 1 ต้น ณ สถานที่ก่อสร้าง ตามตำแหน่งที่ได้รับอนุมัติจากวิศวกรผู้ออกแบบพร้อมทั้งส่งรายงานผลการทดลองเสาเข็มนั้นจำนวน 5 ชุด ต่อผู้ว่าจ้าง

ตารางที่ 4.2 ขนาดเสาเข็มเจาะ และความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยในเขตกรุงเทพฯ

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

<u>หมายเหตุ</u>

1) ความยาวของเสาเข็มเปลี่ยนแปลงได้ตามคุณสมบัติของชั้นดิน ค่าการรับน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการ จะทำการเจาะสำรวจดิน Soil Investigation ก่อนที่จะลงมือทำเสาเข็มเจาะ
2) ระดับความลึกและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มเจาะในตารางเป็นค่าโดยประมาณของพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล

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

4.1.2 คานยึด (Bracing)

4.1.2.1 ตรวจสอบตำแหน่งแนวก่อสร้าง ระยะช่วง (Span) ศูนย์กลางของฐานราก และศูนย์กลาง เสาตอม่อ

4.1.2.2 ตรวจสอบและกำหนดขนาดคานยึด และจำนวนเสาเข็มของแต่ละตับ

4.1.2.3 ถ้าเข็มที่ตอกหนีศูนย์ซึ่งจะต้องขยายขนาดความกว้างคานยึด เพื่อยึดเข็มที่หนีศูนย์ โดยเสาเข็มที่หนีศูนย์จะต้องหนีศูนย์ไม่เกิน 75 มม. ห้ามดำเนินการหล่อต่อเสาเข็มโดยวิธีการเบนแนวเสาต่อเข้าหาแนวคานยึด

4.1.2.4 ตรวจสอบและให้ระดับท้องฐานรากเพื่อที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดหัวเสาเข็มของฐานราก

4.1.2.5 ควบคุมการตัดคอนกรีตหัวเสาเข็ม โดยกำหนดขีดเส้นแนวให้ชัดเจนก่อนใช้ใบตัดคอนกรีตตัดให้รอบหัวเสาเข็ม ทำการทุบหัวเสาเข็มที่ตัดแล้วเสร็จ

4.1.2.6 ตรวจสอบการดำเนินการก่อสร้างนั่งร้าน ค้ำยัน และแบบหล่อ ที่จะใช้หล่อคอนกรีตต้องอยู่ในสภาพสมบูรณ์ มีปริมาณเพียงพอ และต้องใช้น้ำมันทาแบบที่ผ่านการเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานให้ใช้ได้ โดยต้องไม่มีผลกระทบกับคุณภาพของคอนกรีต ไม่ทำให้ผิวคอนกรีตเสียหาย และมีความสวยงามเมื่อถอดแบบก่อสร้าง

4.1.2.7 ตรวจสอบชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะ Covering ของเหล็กเสริม ให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างกำหนด

4.1.2.8 การเชื่อม ต่อทาบ ดัดงอ และการผูกเหล็กเสริม ต้องเป็นไปตามหลักวิชาการ หรือตามที่แบบก่อสร้างกำหนดไว้

4.1.2.9 เหล็กเสริมต้องไม่มีสนิมขุม เปื้อนน้ำมัน คราบโคลน หากมีให้ดำเนินแก้ไขก่อนนำไปใช้

4.1.2.10 ตรวจสอบการเข้าแบบหล่อคอนกรีต ให้ได้ขนาดและตำแหน่งตามแบบก่อสร้าง มีการยึดและค้ำยันที่แข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงจากการกระทำขณะเทคอนกรีต

4.1.2.11 ระดับหลัง ท้อง มุม ของคานยึด ต้องติดบัวลบเหลี่ยมขนาด 2.0 ซม.

4.1.2.12 ตรวจสอบความเรียบร้อย ก่อนดำเนินการเทคอนกรีต เช่น ความสะอาด การหนุนลูกปูน การอุดรอยต่อแบบหล่อ การจัดเตรียมการอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักร บุคลากร และจัดเตรียมบริเวณที่จะดำเนินการเทคอนกรีต รวมถึงการจัดการจราจรบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง

4.1.3 เสาตอม่อ (Column)

ดำเนินการตรวจสอบแนวตอม่อ ระยะช่วง (Span) ของตำแหน่งตอม่อทุกตับรวมถึงตรวจสอบขนาดระยะห่างของเสาแต่ละต้นในตอม่อ ให้ถูกต้องตามแบบก่อนและดำเนินขั้นตอนควบคุมตรวจสอบงานต่อไปนี้

4.1.3.1 เมื่อเทคอนกรีตคานยึดเรียบร้อย ก่อนดำเนินการหล่อเสา ต้องตรวจสอบแนวตอม่อ ระยะช่วง (Span) ระยะห่างของเสาแต่ละต้นให้ถูกต้องตามแบบ

4.1.3.2 เหล็กแกนเสา และเหล็กปลอกจะต้องไม่เป็นสนิม คราบโคลน น้ำมัน ถ้ามีจะต้องทำความสะอาดให้เรียบร้อยก่อนนำไปใช้งาน

4.1.3.3 การดัด งอ เหล็กเสริม ต้องเป็นไปตามแบบและข้อกำหนด ห้ามใช้ความร้อนในการดัดเหล็ก

4.1.3.4 ผิวแบบจะต้องเรียบปราศจากคราบสนิม คราบคอนกรีต ถ้ามี ต้องขัดออกแล้วล้างด้วยน้ำก่อนทาน้ำมันทาแบบ

4.1.3.5 ตรวจสอบตำแหน่งของแบบหล่อให้ได้ระยะ ดิ่งและแนวฉากตามแบบก่อสร้าง

4.1.3.6 ตรวจสอบความแข็งแรงของค้ำยัน ถ้าเป็นแบบเหล็กต้องขันน็อตให้แน่นทุกตัว

4.1.3.7 ตรวจสอบระยะหุ้มคอนกรีต (Covering) ให้ถูกต้อง

4.1.3.8 ติดบัวลบเหลี่ยมเสาทุกต้น

4.1.3.9 ตรวจสอบและให้ระดับการหยุดเทคอนกรีตเสาทุกต้น

4.1.3.10 เมื่อตรวจสอบระดับ ขนาด ดิ่ง ฉาก ความสะอาด ระยะ Covering ระยะเหล็กเสริม เรียบร้อยถูกต้องตามแบบและข้อกำหนดแล้ว จึงอนุญาตให้เทคอนกรีตต่อไป

4.2 โครงสร้างส่วนบน (Superstructures)

การควบคุมงานก่อสร้างโครงสร้างส่วนบน ได้แก่ แผ่นยางรองรับพื้นสะพาน คานคอนกรีตอัดแรง คานหัวเสา พื้นสะพาน(ทั้งหล่อในที่และหล่อจากโรงงาน) รวมไปถึงทางเท้า ขอบทาง และราวสะพาน ต้องดำเนินการตรวจสอบระดับและตำแหน่งของระบบระบายน้ำบนพื้นสะพานและใต้สะพานให้เป็นไปตามแบบและต้องเหมาะสมกับสภาพในแต่ละพื้นที่

4.2.1 แผ่นยางรองรับพื้นสะพาน (Bearing Pad)

แผ่นยางรองรับพื้นสะพานนั้นเป็นส่วนสำคัญที่จะรองรับการถ่ายน้ำหนักทั้งหมดจากโครงสร้างส่วนบนของสะพานรวมถึงน้ำหนักจรในการใช้งานจริงด้วย ดังนั้นผู้ควบคุมงานจะต้องดำเนินการตรวจสอบควบคุมการติดตั้งให้ถูกต้อง เพื่อผลในการใช้งานที่มีประสิทธิภาพดังนี้

4.2.1.1 ตรวจสอบคุณสมบัติและขนาดมิติต่างๆ ของแผ่นยางให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบ หรือตามที่ผู้รับจ้างได้ออกแบบตามมาตรฐาน BS, ASTM หรือมาตรฐาน

AASHTO ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักสำรวจและออกแบบ

4.2.1.2 ทดลองตัวอย่างจากแหล่งผลิต (General Test) โดยให้ผู้รับจ้างส่งแผ่นตัวอย่างจำนวน 1 ตัวอย่าง ของแผ่นยางแต่ละชนิด เพื่อทดสอบคุณสมบัติก่อนการผลิตใช้งานจริง

4.2.1.3 ทดลองตัวอย่างจากแผ่นยางที่ผลิตแล้ว (Control Test) โดยให้ผู้รับจ้างส่งแผ่นตัวอย่างจำนวนร้อยละ 1 หรืออย่างน้อย 3 แผ่น จากจำนวนที่ผลิต

4.2.1.4 การทดสอบเพื่อการใช้งาน (Quick Production Test) โดยผู้ควบคุมงานต้องควบคุมการทดสอบแผ่นยางที่จะนำมาใช้งานทุกแผ่น โดยต้องให้ผลใช้ได้ตามข้อกำหนด

4.2.1.5 โรงงานผู้ผลิตระบุ Code แทนชื่อสายทางหรือโครงการฯ และเรียงลำดับหมายเลขการผลิตบนแผ่นยางที่ผลิตทุกแผ่น

4.2.1.6 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 และการบรรทุกน้ำหนักจรของโครงสร้างคอนกรีตอีกทีหนึ่ง โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงจะรับน้ำหนักได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของแรงอัดที่อัดเข้าไปในโครงสร้างคอนกรีต โดยการใช้ลวดเหล็กแรงดึงสูงอัดแรงเข้าไปในคอนกรีต

<u>คานคอนกรีตอัดแรงแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ</u>

4.2.2.1 การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงก่อน (Pre–Tensioned Method)

4.2.2.2 การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง (Post–Tensioned Method)

<u>ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง</u>

1) รายละเอียดรูปแบบของคานคอนกรีตอัดแรง เช่น ความยาวคาน ลักษณะปลายคานเป็นแบบ Half Joint หรือ Full Joint
2) รายละเอียดของการอัดแรงเป็นแบบดึงลวดอัดแรงก่อน (Pre-Tensioned) หรือแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง (Post-Tensioned)

3) รายละเอียดของชนิด ขนาด ประเภทและชั้นคุณภาพของลวดอัดแรงตามแบบกำหนด
4) คำนวณหาค่าการยืดตัว (Elongation) ของลวดอัดแรง จากแรงดึงตามแบบกำหนด

4.2.2.1 คานคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงก่อน (Pre-Tensioned)

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

<u>ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง</u>

1) ตรวจสอบแบบรายละเอียดของคานคอนกรีต อัดแรง(Prestressed Concrete Girder)
2) ตรวจสอบแนวและระดับฐานหล่อ (Bed)
3) ตรวจสอบขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะทาบ ระยะห่างของเหล็กเสริมและต้องสะอาดไม่เป็นสนิมขุม
4) ตรวจสอบชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ความสะอาด ของลวดอัดแรง (Tendon) ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด
5) ตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์การดึงลวดอัดแรง ต้องมีเอกสารรับรองการทดลองปรับเทียบและมีระยะเวลาครอบคลุมระหว่างการปฏิบัติงาน
6) ตรวจสอบรายการคำนวณการดึงลวดอัดแรงและการยืดตัว Elongation ให้เป็นไปตามแบบกำหนด
7) ตรวจสอบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต (Concrete Mixed Design) และทำการ ทดสอบกำลังรับ แรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง เป็นไปตามแบบกำหนด

<u>ขั้นตอนการหล่อคานคอนกรีต</u>

1) ตรวจสอบการร้อยลวดอัดแรง พร้อมใส่ท่อหุ้มลวดอัดแรง (Debond) ตามแบบ
2) ตรวจสอบการประกอบเหล็กเสริม และติดตั้งลูกปูนให้ได้ระยะ Covering ตามแบบ
3) ควบคุมการดึงลวดอัดแรงทุกเส้นให้ตึง (Pre-Load) ตรวจสอบรอยแตก ตำเหน่งท่อหุ้มของลวดอัดแรงตลอดแนว ทำเครื่องหมายไว้ จากนั้นดึงลวดอัดแรงตามค่าแรงดึงที่แบบกำหนด วัดระยะการยืดตัว ตามที่กำหนดไว้ จดบันทึกการดึงลวดอัดแรงทุกเส้น
4) ประกอบแบบหล่อที่ทาน้ำมันทาแบบ และยึดค้ำยันให้แข็งแรง กรณีคานไม่วางอยู่ในระดับให้ทำการปรับคานและจุดรองรับให้เหมาะสม
5) การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากนายช่างควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
6) ขณะเทคอนกรีตต้องตรวจสอบแบบหล่อ ไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัว

7) ตรวจสอบความข้นเหลวของคอนกรีต (Slump Test) ตามข้อกำหนด และเก็บแท่งคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อการทดสอบความสามารถรับแรงอัด
8) ควบคุมการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Vibrator) อย่างถูกวิธี
9) บันทึก วัน เดือน ปี หมายเลขลำดับการหล่อ ตำแหน่งติดตั้งของคานคอนกรีตอัดแรง เพื่อความสะดวก ถูกต้อง ในการกองเก็บ และขนส่งไปใช้งานขั้นตอนต่อไป
10) ก่อนการตัดลวดอัดแรง ต้องตรวจสอบผลการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้ได้ค่าตามแบบกำหนด
11) ลดแรงดึงอย่างช้าๆ โดยคลายแม่แรงสำหรับลดแรงดึง จนกระทั่งแรงดึงลวดอัดแรงหมดไป จากนั้นจึงทำการตัดลวดอัดแรง
12) กรณีหล่อคานคอนกรีตอัดแรงในฐานหล่อมากกว่าหนึ่งคาน การตัดลวดอัดแรง ให้ตัดลวดระหว่างคานคอนกรีตแต่ละคาน ให้ตัดสลับเส้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของคานคอนกรีตอัดแรง
13) การตัดลวดอัดแรงที่บริเวณปลายคาน ให้ใช้เครื่องตัดชนิดแผ่นไฟเบอร์ ห้ามใช้ความร้อนในการตัดลวดอัดแรง

4.2.2.2 การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง (Post-Tensioned)

การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง หมายถึง การเทคอนกรีตในแบบหล่อก่อนจนคอนกรีตมีกำลังสูงเพียงพอจึงทำการอัดแรง เหมาะสำหรับโครงสร้างขนาดใหญ่ที่มีช่วงความยาวคานมากกว่า 25.0 เมตร สำหรับคานแบบดึงลวดอัดแรงภายหลังนั้นส่วนมากจะมีขนาดใหญ่ การขนส่งค่อนข้างลำบาก จึงต้องทำการหล่อคานในสนามเป็นส่วนใหญ่ การควบคุมการหล่อคานมีดังนี้

<u>ขั้นตอนการหล่อคานคอนกรีต</u>

1) ศึกษาแบบรายละเอียดของคานคอนกรีตพร้อมทั้งตรวจระดับของท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรงและเหล็กเสริมให้เป็นไปตามที่ผู้ออกแบบได้คำนวณไว้
2) ตรวจสอบการติดตั้งสมอยึด(Anchor) ลวดเหล็กอัดแรง ให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนด
3) ตรวจสอบ ตำแหน่ง ระดับ การติดตั้งท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง (Sheath) ให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนด
4) ท่อร้อยกลุ่มลวดเหล็กอัดแรงต้องมีพื้นที่หน้าตัดภายในไม่น้อยกว่า 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดสุทธิของกลุ่มลวดเหล็กอัดแรง
5) ตรวจสอบรอยต่อของท่อร้อยลวดอัดแรงและข้อต่อสำหรับตรวจสอบการอัดน้ำปูน ต้องไม่มีรอยรั่วและแข็งแรงดีพอ

6) ตรวจสอบและควบคุมการใช้หัวสั่นสะเทือนในการเทคอนกรีต ไม่ให้กระทบกับท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรงเสียหายเกิดรอยรั่วได้
7) ตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อกำหนดก่อนที่ทำการดึงลวดเหล็กอัดแรง
8) ควบคุมการดึงลวดเหล็กอัดแรงต้องทำการดึงลวดที่ปลายคานคอนกรีตทั้งสองด้านเป็นไปตามค่าแรงดึงตามแบบกำหนด
9) ตรวจสอบการอัดน้ำปูน (Grouting) ต้องเป็นตามหลักเกณฑ์
10) ทำความสะอาดภายในท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง โดยการอัดน้ำและอัดลมเพื่อตรวจสอบว่ามีรอยรั่วและข้อต่อระบายน้ำปูน
11) น้ำปูนต้องผสมในเครื่องผสมที่ทำงานและกวนส่วนผสมได้อย่างต่อเนื่อง
12) อัตราส่วนผสมน้ำปูนเท่ากับปูนซีเมนต์ 50 กก. ต่อน้ำ 17 ลิตร
13) ตรวจสอบความข้นเหลว (Viscosity) ต้องไม่เกิน 13 วินาที โดยใช้กรวยวัดมาตรฐาน
14) อุณหภูมิของน้ำปูนขณะที่กำลังอัดน้ำปูนต้องไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส
15) เครื่องอัดน้ำปูนต้องมีกำลังแรงดึงไม่น้อยกว่า 5 Bar.
16) ต้องใช้สารผสมเพิ่มเพื่อการขยายตัวของน้ำปูนภายในท่อร้อยลวดเหล็กแรงดึง โดยใช้ปริมาณ 100 กรัม เท่ากับปูนซีเมนต์ 50 กก.
17) ต้องเก็บแท่งตัวอย่างน้ำปูนที่ปลายท่อร้อยหรือข้อต่อสำหรับให้น้ำปูนไหลออก

<u>ขั้นตอนการตรวจสอบอุปกรณ์การอัดแรง</u>

<u>สมอยึดเหล็กเสริมอัดแรงและหัวต่อ (Coupler)</u>

1) ตรวจสอบสมอยึดสำหรับการอัดแรงชนิดยึดเหนี่ยว ต้องสามารถรับแรงได้ไม่น้อยกว่า 90 % ของกำลังประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรง โดยไม่มีการรูดกลับเกินกำหนดเมื่อทดสอบในสภาพไม่ยึดเหนี่ยว อย่างไรก็ตาม ภายหลังที่เหล็กเสริมอัดแรงยึดเหนี่ยวกับองค์อาคารแล้ว สมอยึดจะต้องรับแรงได้ไม่น้อยกว่า 100 % ของกำลังประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรง
2) ตรวจสอบสมอยึดและหัวต่อสำหรับระบบอัดแรงชนิดไม่ยึดเหนี่ยวต้องสามารถรับแรงได้ไม่น้อยกว่า 95% ของกำลังประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรง โดยไม่มีการรูดกลับเกินกำหนด
3) ตำแหน่งการวางหัวต่อ ต้องได้รับความเห็นชอบจากวิศวกร และต้องอยู่ภายในช่องซึ่งมีขนาดความยาวเพียงพอที่จะไม่ขัดขวางการเคลื่อนที่อันเกิดจากการดึงเหล็กเสริมอัดแรง
4) ในงานคอนกรีตอัดแรงชนิดไม่ยึดเหนี่ยวซึ่งต้องรับน้ำหนักบรรทุกซ้ำซาก (Reputed loading) นั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงผลของการล้าของสมอยึดและหัวต่อสมอยึดและ

อุปกรณ์ที่ปลายเหล็กเสริมอัดแรง ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันต่อการผุกร่อน (Corrosion) อย่างถาวร

5) สมอยึดเหล็กเสริมอัดแรงชนิดไม่ยึดหน่วง ต้องมีความสามารถรับแรงกระทำครบวงจรจาก 60% - 66% - 60% ของกำลังดึงประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรงได้ไม่น้อยกว่า 500,000 รอบโดยไม่วิบัติ และสามารถรับแรงกระทำครบวงจรจาก 40% - 80% - 40% ของกำลังดึงประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรงได้ไม่น้อยกว่า 50 รอบโดยไม่วิบัติ

<u>ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง (Sheath) สำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงที่หลัง</u>

1) ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงสำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงที่หลังทุกชนิด จะต้องสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำปูนเข้าภายในท่อได้อย่างดี และต้องไม่ทำปฏิกิริยากับคอนกรีต เหล็กเสริมอัดแรง รวมทั้งวัสดุอัดอุดท่อ
2) ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงชนิดที่มีการอัดอุดภายหลัง ซึ่งใช้ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงเพียงเส้นเดียวจะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในใหญ่กว่าเหล็กเสริมอัดแรงไม่น้อยกว่า 6.0 มิลลิเมตร
3) ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงชนิดที่มีการอัดอุดภายหลัง ซึ่งใช้ร้อยกลุ่มเหล็กเสริมอัดแรง จะต้องมีพื้นที่หน้าตัดภายในไม่น้อยกว่า 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดสุทธิของกลุ่มเหล็กเสริมอัดแรง

<u>การป้องกันการผุกร่อนของเหล็กเสริมอัดแรงชนิดไร้การยึดเหนี่ยว</u>

เหล็กเสริมอัดแรงชนิดไร้การยึดเหนี่ยว จะต้องเคลือบผิวด้วยสารป้องกันการผุกร่อนอย่างทั่วถึง โดยมีคุณสมบัติด้านเสถียรภาพทางเคมี และไม่ทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมอัดแรง มีความคงตัว ไม่เยิ้มไหลหรือแข็งตัวภายใต้อุณหภูมิใช้งาน สามารถป้องกันการผุกร่อนของเหล็กเสริมอัดแรงอย่างได้ผลตลอดระยะเวลาใช้งาน และลดความเสียดทานระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงกับท่อร้อยลวดอัดแรง

<u>การอัดน้ำปูน (Grouting) ของงานคอนกรีตอัดแรงชนิดยึดเหนี่ยว</u>

วัสดุที่ใช้ในการอัดอุด ควรเป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และน้ำ หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายและน้ำ วัสดุต่างๆซึ่งใช้ในการอัดน้ำปูน จะต้องได้ตามข้อกำหนดดังนี้

1) ปูนซีเมนต์ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก.15
2) น้ำที่ใช้ต้องสะอาด ปราศจากสิ่งซึ่งอาจมีผลกระทบต่อคอนกรีต และเหล็กเสริมอัดแรง

3) หากใช้ทรายเป็นส่วนผสมด้วย ต้องใช้ทรายที่เป็นไปตามมาตรฐานสำหรับงานก่อหรืองานฉาบตามมาตรฐาน ASTM C 144 หรือเทียบเท่า ยกเว้นส่วนคละอาจเปลี่ยนแปลงได้ โดยไม่มีอันตรายต่อเหล็กเสริมอัดแรง
4) สารผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม ในกรณีที่ยังไม่ประกาศใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม ให้ใช้มาตรฐาน ASTM C 494 และต้องไม่มีอันตรายต่อเหล็กเสริมอัดแรง

<u>ส่วนผสมน้ำปูน</u>

1) อัตราส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ จะต้องได้มาจากวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้
2) ผลการทดสอบน้ำปูนอัด ทั้งในสภาพที่ยังสดอยู่ และแข็งตัวแล้วก่อนการทำงานจริง
3) เอกสารอ้างอิงในเชิงเทคนิคสำหรับลักษณะของวัสดุต่างๆ ตลอดจนอุปกรณ์ที่คล้ายคลึงกันในสภาพที่เทียบเคียงกันได้
4) ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม ควรจะน้อยที่สุดเท่าที่จะทำให้การอัดน้ำปูนเป็นไปด้วยดี โดยที่อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักจะต้องไม่เกิน 0.45
5) ห้ามเติมน้ำภายหลังเพื่อเพิ่มความเหลวของน้ำปูนอัด ซึ่งลดลงเนื่องมาจากความล่าช้าในการใช้งาน

<u>การผสมและการอัดน้ำปูน</u>

1) น้ำปูนอัดต้องผสมในเครื่องซึ่งสามารถทำงานและกวนได้อย่างต่อเนื่องและสามารถก่อให้เกิดการผสมตัวกันของวัสดุต่างๆได้อย่างสม่ำเสมอ น้ำปูนอัดจะต้องมีการกรองผ่านตะแกรง และต้องอัดให้เต็มช่องว่างในท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงได้อย่างสมบูรณ์
2) อุณหภูมิขององค์อาคาร ต้องสูงกว่าจุดเยือกแข็งในขณะทำการอัดน้ำปูน และจะต้องรักษาอุณหภูมิให้สูงกว่าจุดเยือกแข็งจนกระทั่ง ตัวอย่าง รูปลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. ของน้ำปูนอัดซึ่งบ่มในสภาพมีกำลังอัดเกิด 55 กก./ตร.ซม.
3) หากองค์อาคาร หรือชิ้นส่วนโครงสร้าง ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ก่อนการอัดอุดจะต้องไม่มีน้ำอยู่ภายในท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง
4) ก่อนการอัดน้ำปูน ต้องตรวจสอบการรั่วไหลและทำการแก้ไข (ถ้ามี)
5) อุณหภูมิของน้ำปูนอัด เมื่อไหลออกจากเครื่องอัดจะต้องไม่สูงกว่า 32 องศาเซลเซียส

<u>การดึงลวดอัดแรงและการวัดขนาดของแรงอัด</u>

1) ใส่ Jack ดึงที่ปลายคานทั้ง 2 ข้าง แล้วทำการ Preload 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
6) ขนาดของแรงอัด จะต้องวัดทั้งสองวิธีดังนี้
7) อ่านขนาดของแรงอัดจากมาตรวัดซึ่งปรับเทียบ (Calibrate) แล้ว หรือจากเซลเทียบน้ำหนัก (Load Cell) หรือโดยการใช้ไดนาโมมิเตอร์
8) วัดระยะยืดของเหล็กเสริมอัดแรง แล้วหาขนาดของแรงจากเส้นแสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของแรงกับระยะยืดของเหล็กเสริมอัดแรง หากขนาดของแรงที่ได้จากวิธีทั้งสองแตกต่างกันเกินกว่าร้อยละ 5 ต้องทำการตรวจสอบและแก้ไข
9) สำหรับงานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงก่อน (Pre-Tensioned) นั้น หากจากถ่ายแรงจากแท่นดึงสู่คอนกรีต กระทำโดยวิธีการตัดเหล็กเสริมอัดแรงที่ละเส้น จุดตัดและลำดับการตัดจะต้องพิจารณาให้ดี เพื่อหลีกเลี่ยงหน่วยแรงชั่วคราวที่ไม่พึงประสงค์
10) เหล็กเสริมอัดแรงสำหรับงานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงก่อน ต้องทำการตัดเหล็กเสริมอัดแรงให้ใกล้กับชิ้นส่วน เพื่อลดแรงกระแทกที่อาจเกิดขึ้นกับเนื้อคอนกรีต
11) การสูญหายของแรงอัด อันเนื่องมาจากการมิได้ทดสอบเหล็กเสริมอัดแรงซึ่งดึงขาดไปจะมีไม่เกินร้อยละ 2 ของแรงอัดทั้งหมดของส่วนองค์อาคารที่พิจารณา ทั้งนี้ต้องไม่ให้เกินความวิบัติเฉพาะจุด (Load Failure) ในองค์อาคาร

<u>การจัดวางเหล็กเสริมอัดแรง</u>

1) เหล็กเสริมในงานคอนกรีตอัดแรง ทั้งชนิดเหล็กเสริมอัดแรงและเหล็กเสริมธรรมดา รวมทั้งท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง จะต้องวางในตำแหน่งที่ถูกต้องตามที่กำหนดในแบบ และมีการจับยึด หรือรองรับอย่างมั่นคงทั้งก่อนและระหว่างการเทคอนกรีต ความคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่กำหนดในแบบให้เป็นไปตามรายละเอียดในหัวข้อถัดไป
2) ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของระยะจากผิวนอกสุดด้านที่เป็นแรงอัดถึงศูนย์กลางของเหล็กเสริมอัดแรง d ให้เป็นไปตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของการวางเหล็กเสริมอัดแรง

ความหนาของชิ้นส่วน	ความคลาดเคลื่อนของเหล็กเสริมอัดแรง	
h	แนวดิ่ง	แนวราบ
ไม่เกินกว่า 400 มิลลิเมตร	± (h/40) มิลลิเมตร	± 20 มิลลิเมตร
มากกว่า 400 มิลลิเมตร	± 10 มิลลิเมตร	± 20 มิลลิเมตร

ระยะห่างของการจัดเหล็กเสริมอัดแรงและท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง

1) ในงานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อน ระยะห่างสุทธิระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงที่ปลายของชิ้นส่วนจะต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางระบุสำหรับลวดเหล็กอัดแรง หรือ 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางระบุสำหรับลวดเกลียวอัดแรง แต่ทั้งนั้นระยะห่างสุทธิดังกล่าวต้องไม่น้อยกว่า 3/4 เท่าของขนาดมวลรวมหยาบที่ใหญ่ที่สุด ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมที่น้อยกว่านี้ หรือการรวมกลุ่มของเหล็กเสริมอัดแรง อาจยอมให้กระทำได้ในส่วนที่อยู่ใกล้กึ่งกลางช่วงความยาว
2) ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงสำหรับงานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กที่หลัง อาจรวมกลุ่มกันได้ถ้าสามารถแสดงให้เห็นว่า การเทคอนกรีตสามารถกระทำได้อย่างดี และมีการป้องกันมิให้เหล็กเสริมอัดแรงที่ถูกดึงแล้วแตกทะลุท่อร้อยออกมาได้

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม

(1) ระยะคอนกรีตหุ้มที่น้อยที่สุดสำหรับเหล็กเสริมธรรมดา เหล็กเสริมอัดแรง ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง และอุปกรณ์ยึดเหล็กเสริมในงานคอนกรีตอัดแรงเป็นดังตารางที่ 4.4 (ยกเว้นที่ระบุไว้ในข้อถัดไป)

(2) สำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงซึ่งสัมผัสกับดิน บรรยากาศภายนอก หรือสภาพแวดล้อมที่รุนแรงและใช้หน่วยแรงดึงที่ยอมให้มากเกินกว่า $1.59\sqrt{f_c'}$ และระยะคอนกรีตหุ้มที่น้อยที่สุด จะต้องเพิ่มขึ้นจากตารางที่ 4.4 อีกร้อยละ 50

ตารางที่ 4.4 ระยะคอนกรีตหุ้มที่น้อยที่สุดสำหรับเหล็กเสริมธรรมดา เหล็กเสริมอัดแรง ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง และอุปกรณ์ยึดเหล็กเสริมในงานคอนกรีตอัดแรง

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

การควบคุมการวางคาน

1) ตรวจสอบระยะ ระดับของ Bearing Support ให้ถูกต้อง
2) ตรวจสอบระยะระหว่างตอม่อ (Span) ให้ถูกต้องเนื่องจากตอม่ออาจเคลื่อนตัวผิดไปจากตำแหน่งเดิม
3) ตรวจสอบวิธีวางคานและประสิทธิภาพของเครื่องจักรว่าเหมาะสมหรือไม่
4) ตรวจสอบความแข็งแรงของพื้นที่ ที่จะใช้ในการวางคาน
5) ก่อนที่จะนำคานไปวางยังตำแหน่งให้ตรวจสอบหมายเลขและทิศทางการวางคานที่หน้างานอีกครั้งหนึ่งให้ถูกต้อง
6) ควบคุมระยะของปลายคานทั้งสองที่วางอยู่บน Cantilever Deck รับคานนั้นให้มีระยะห่างพอดีตามข้อกำหนด

4.2.3 คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น (Cantilever Deck)

คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น เป็นโครงสร้างส่วนบนของเสาตอม่อที่ทำหน้าที่รองรับคาน ออกแบบเพื่อเพิ่มความยาวช่วงสะพาน หรือลดความยาวของคานคอนกรีตอัดแรง มีรูปแบบเป็น คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบตัน(Solid Type) หรือคานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบกลวง (Hollow Type)

ก่อนเริ่มดำเนินการให้ผู้รับจ้างเสนอแบบสำหรับก่อสร้าง (Shop Drawings) โดยมีรายละเอียดได้แก่ 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

1) ตรวจสอบความแข็งแรงของฐานรากที่รองรับนั่งร้านให้สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่คำนวณไว้
2) ตรวจนั่งร้านให้เป็นไปตามแบบที่ได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงาน
3) ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กะบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ

Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด

4) ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
5) ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ (Abrasion) และความสะอาดของหิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
6) น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
7) ตรวจสอบตำแหน่งและระดับ เพื่อประกอบแบบพื้นล่าง โดยเผื่อการทรุดตัวของนั่งร้าน
8) ตรวจแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
9) ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง
10) ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนด
11) กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ตรวจแนวและระดับของท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง การติดตั้งสมอยึด (Anchor) ให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนด
12) ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน
13) ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง (Bar Chair) รองรับให้แข็งแรง ไม่ทรุด
14) ตรวจการติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ เพื่อตรวจสอบการทรุดตัวของนั่งร้าน ในระหว่างการเทคอนกรีต
15) ตรวจ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ท่อระบายน้ำ และท่อร้อยสายไฟฟ้าแสงสว่าง ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ
16) จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม
17) ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
18) ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

<u>งานเทคอนกรีต</u>

1) การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
2) ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) ตามข้อกำหนด
3) ควบคุมที่โรงงานผสมคอนกรีต ตรวจสอบเวลาในการผสม (Mixing Time) ให้เหมาะสม
4) ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว

5) ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท
6) ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด
7) ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)
8) กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ต้องควบคุมไม่ให้เครื่องมือ อุปกรณ์ทำให้คอนกรีตแน่นตัว กระทบท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง
9) ขณะเทคอนกรีต ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด โดยเขียนรายละเอียดลงในเนื้อคอนกรีต
10) การเทคอนกรีตควรเทเป็นชั้น อย่างต่อเนื่อง และเทให้กระจายสม่ำเสมอ หากมีเศษคอนกรีตที่ติดค้างที่เหล็กเสริมด้านบนต้องขจัดออกทันที
11) ก่อนเทคอนกรีตใหม่ เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตใหม่
12) ขณะที่เทคอนกรีต ต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม
13) กรณีนั่งร้านมีการทรุดตัวมากผิดปกติ ให้ผู้รับจ้างดำเนินการแก้ไขโดยทันที
14) แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด
15) เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง

<u>งานหลังเทคอนกรีต</u>

1) ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
   - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
   - แบบประกอบรองรับท้องคาน พื้น 14 วัน
   - กรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน
2) ตรวจสอบผลทดลองความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
3) เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที
4) กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ควบคุมการดึงลวดเหล็กอัดแรงให้ได้แรงตามข้อกำหนด และเป็นไปตามลำดับ

ตรวจสอบการอัดน้ำปูนข้นที่ผสมสารเพิ่มการขยายตัว เก็บตัวอย่างน้ำปูนเพื่อตรวจสอบการขยายตัว และเก็บแท่งตัวอย่างเพื่อทดสอบความสามารถการรับแรงอัด ห้ามวางคานก่อนน้ำปูนแข็งตัว

5) 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)

<u>การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต</u>

1) ตรวจสอบฐานรากรองรับนั่งร้านให้สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่คำนวณไว้
2) ตรวจการประกอบนั่งร้านตามแบบที่กำหนดไว้ โดยตรวจสอบจุดต่อให้แข็งแรง
3) ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กะบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
4) ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
5) ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ (Abrasion) และความสะอาดของหิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
6) น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
7) กำหนดตำแหน่งและระดับ เพื่อประกอบแบบพื้นล่าง โดยเผื่อการทรุดตัวของนั่งร้าน
8) ติดตั้งท่อระบายน้ำพื้นล่าง (Bottom slab) ตามที่แบบกำหนด
9) ตรวจแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
10) ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง
11) ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนด
12) กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ตรวจแนวและระดับของท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง การติดตั้งสมอยึด (Anchor) ให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนด

13) ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน
14) ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง (Bar Chair) รองรับให้แข็งแรง ไม่ทรุด
15) ตรวจการติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ เพื่อตรวจสอบการทรุดตัวของนั่งร้าน ในระหว่างการเทคอนกรีต
16) ตรวจ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ท่อระบายน้ำ และท่อร้อยสายไฟฟ้าแสงสว่าง ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ
17) จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม
18) ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
19) ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

<u>งานเทคอนกรีต</u>

1) การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
2) ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) ตามข้อกำหนด
3) ควบคุมที่โรงงานผสมคอนกรีต ตรวจสอบเวลาในการผสม (Mixing Time) ให้เหมาะสม
4) ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
5) ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท
6) ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด
7) ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)
8) กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ต้องควบคุมไม่ให้เครื่องมือ อุปกรณ์ทำให้คอนกรีตแน่นตัว กระทบท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง
9) ขณะเทคอนกรีต ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด โดยเขียนรายละเอียดลงในเนื้อคอนกรีต
10) การเทคอนกรีตโครงสร้าง คานหัวเสา (Crosshead) คานหลัก (Web) คานซอย (Diaphragm) ควรเทเป็นชั้น อย่างต่อเนื่อง และเทให้กระจายสม่ำเสมอ หากมีเศษคอนกรีตที่ติดค้างที่เหล็กเสริมด้านบนต้องขจัดออกทันที

11) ก่อนเทคอนกรีตใหม่ เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตใหม่
12) ขณะที่เทคอนกรีต ต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม
13) กรณี นั่งร้านมีการทรุดตัวมากผิดปกติ ให้ผู้รับจ้างดำเนินการแก้ไขโดยทันที
14) แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด
15) เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง

<u>งานหลังเทคอนกรีต</u>

1) ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
   - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
   - แบบประกอบรองรับท้องคาน พื้น 14 วัน
   - กรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน
2) ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
3) เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที
4) ตรวจสอบท่อระบายน้ำพื้นล่าง (Bottom Slab) หากอุดตันต้องทำการแก้ไขทันที
5) กรณีคานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ควบคุมการดึงลวดเหล็กอัดแรงให้ได้แรงตามข้อกำหนด และเป็นไปตามลำดับ ตรวจสอบการอัดน้ำปูนข้นที่ผสมสารเพิ่มการขยายตัว เก็บตัวอย่างน้ำปูนเพื่อตรวจสอบการขยายตัว และเก็บแท่งตัวอย่างเพื่อทดสอบความสามารถการรับแรงอัด ห้ามวางคานก่อนน้ำปูนแข็งตัว
6) 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

1) ก่อนดำเนินก่อสร้าง ผู้รับจ้างต้องเสนอแบบรายละเอียดสำหรับก่อสร้าง (Shop Drawings) รายการคำนวณ (Calculation Sheets) ผู้ผลิตหรือผู้แทนจำหน่าย (Supplier) และข้อกำหนด (Specification) ให้ทางโครงการตรวจสอบเพื่อเสนอขอความเห็นชอบจากสำนักสำรวจและออกแบบ หรือเป็นไปตามที่แบบกำหนด
2) ตรวจสอบการจัดเตรียมเหล็กเสริม ตามขนาด และความยาวต่างๆ ที่ระบุไว้ใน Shop Drawings และกองเก็บไว้เพื่อนำไปประกอบเป็นโครงเหล็กเสริมของ Segment ใน Rebar Jig ซึ่งการกองเก็บนี้ต้องทำในพื้นที่ที่มีหลังคา หรือผ้าใบคลุมเพื่อป้องกันฝน หลังจากนั้นจะยกชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นรูป Segment ใน Rebar Jig เข้าในแบบหล่อโดย Tower Crane
3) ตรวจสอบโรงดัดเหล็กเสริม ชนิด ขนาด ของลวดอัดแรงและอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ของ Post Tensioning System ที่จะนำมาใช้งาน
4) ตรวจสอบการติดตั้งแบบหล่อด้านล่าง (Bottom Form) ตามกระบวนการผลิตโดยวิธี Short Line Match Casting Method โดยใช้การสลับตำแหน่งของ Segment เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนเปลี่ยนตำแหน่ง โดยนำ Segment ที่หล่อแล้วเสร็จมาทำหน้าที่เป็นแบบให้กับ Segment ตัวใหม่
5) ควบคุมการย้าย New Segment มาอยู่ในตำแหน่ง Match Cast ด้วยชุดล้อเลื่อน และแบบหล่อด้านล่างยังอยู่ลักษณะเดิม 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 มิลลิเมตร
6) ตรวจสอบระดับและแนวของ Match Cast เมื่อเคลื่อนย้าย Segment จากตำแหน่ง New Segment เข้าประจำในตำแหน่ง Match Cast เรียบร้อยแล้วจึงทำการปรับค่าระดับ และแนว Center Line ของ Match Cast Segment ให้ถูกต้อง การตรวจสอบค่าระดับจะตรวจสอบ จากหมุดควบคุม (Pin Point Survey) บน Deck Slab จำนวน 6 ตำแหน่ง โดยสมมติว่าจุดทั้ง 6 จุด บน Deck Slab นี้ไม่ได้รับผลกระทบจากการโก่งตัว อันเนื่องมาจากการดึงลวดอัดแรงตามขวาง หรือการหดตัวของคอนกรีต

7) ตรวจสอบค่าระดับ ต้องมีความละเอียดวัดได้ถึง 0.1 มิลลิเมตร
8) เมื่อจุดควบคุมต่างๆ อยู่ในระดับที่ต้องการ ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่า Hydraulic Jack ทั้งหมด ได้ถูกยึดแน่นไว้อย่างดีด้วยแหวนล็อค และจะไม่เกิดการทรุดตัวของ Segment และต้องตรวจสอบแนว Center Line อีกครั้ง ความคลาดเคลื่อนของค่าระดับไม่เกิน 0.50 มิลลิเมตร
9) ตรวจสอบตำแหน่ง แนว และค่าระดับ ของแบบปิดท้าย (Bulkhead) แบบปิดท้าย (Bulkhead) เป็นชิ้นส่วนที่ติดตั้งให้อยู่กับที่ซึ่งไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ก่อนทำการหล่อ Wet Segmentแต่ละครั้งต้องตรวจสอบแนว ระดับ และตำแหน่งของแบบปิดท้าย ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากการหล่อในครั้งก่อน
10) ควบคุมการติดตั้งแบบด้านนอก (External Form หรือ Side Form) ที่ติดตั้งอยู่ด้านข้างทั้งสองด้าน โดยแต่ละด้านสามารถปรับระดับขึ้นลงได้ ซึ่งช่วยในการเลื่อน New Segment ออกมาได้โดยไม่เสียหาย เมื่อกำหนดค่าระดับ และแนวของ Match Cast แล้วเสร็จ จึงทำการปรับเลื่อน External Form เข้าสู่ตำแหน่งจะมีระยะซ้อนทับกับ Match Cast (New Segment) อยู่ประมาณ 10 Cm. การประกบแบบด้านนอกกับ Match Cast (New Segment) ต้องให้แนบสนิท และอุดช่องว่างด้วยซิลิโคนเพื่อป้องกันการ รั่วไหลของน้ำปูน ขณะเทคอนกรีต ภายหลังการจัดตำแหน่ง External Form เรียบร้อยแล้ว จะทำการยึดตำแหน่งอุปกรณ์ชุดปรับให้มั่นคงแข็งแรง และให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดการทรุดตัว
11) 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)

<u>งานเทคอนกรีต</u>

ควบคุมการเทคอนกรีตในส่วน Bottom Slab ก่อนโดยเว้นด้านครึ่งบนและด้านข้างที่อยู่ใต้ Webทั้งสองข้างไว้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) เทคอนกรีตในส่วน Web โดยเทผ่านท่อที่ยาวถึงด้านล่าง ซึ่งต่อเนื่องกับ Bottom Slab จนกระทั่ง บริเวณมุมระหว่าง Web และ Bottom Slab คอนกรีตแต่ละชั้นต้องสูงไม่เกิน 1 เมตร จากนั้นย้ายไปเทคอนกรีตชั้นที่ 2 เต็ม แต่งคอนกรีตส่วนที่ทะลักเกินบริเวณมุมออกมาซึ่งนี้เป็น สาเหตุที่ต้องเหลือพื้นที่ ส่วนหนึ่งของ Bottom Slab ไว้ พร้อมทั้งจี้

คอนกรีตให้ไหลเต็มแล้วย้ายไปทำเช่นเดียวกับ Web อีกข้างหนึ่ง ซึ่งสมมติเรียกคอนกรีตชั้นนี้ ใน Web เป็นชั้นที่ 1 ในส่วนของ Web

2) เมื่อเสร็จชั้นที่ 1 ของ Web ทั้งสองข้างแล้วจึงกลับมาเทใน Web ข้างที่เทครั้งแรกต่อไปอีกเป็นชั้นที่ 2
3) เทคอนกรีตชั้นต่อๆ ไปใน Web ทั้ง 2 ข้างสลับไปมา จนกระทั่งเต็มถึงด้านบน การเทสลับเพื่อรักษาสมดุลของน้ำหนักที่กระทำต่อแบบ Web ทั้ง 2 ข้าง

ขั้นตอนการติดตั้ง (Erection)

1) 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
2) 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
3) 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 และเป็นพื้นในแต่ละช่วง 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

1) ตรวจสอบขนาดแผ่นพื้นสำเร็จให้ถูกต้อง ไม่มีรอยแตกหักและต้องมีรายการคำนวณการรับน้ำหนักของ Precast Form ที่นำมาใช้ สำหรับงานก่อสร้างสะพานในปัจจุบันกำลังรับน้ำหนักของ Precast Form เป็นแบบหล่อต้องไม่น้อยกว่า 750 kg./m2 ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ ให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างกำหนด
2) ตรวจสอบทิศทางและตำแหน่งการวาง Precast Form ปลายของ Precast Form จะต้องวางอยู่บนที่รองรับหลังคาน โดยให้เกยเข้ามาไม่น้อยว่า 7.5 cm. และใช้ Mortar ปรับระดับให้ได้ตามแบบและตบแต่งให้เรียบ
3) อุดรอยต่อระหว่าง Precast Form โดยใช้แผ่นพลาสติกรองที่รอยต่อเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึมแล้วจึงใช้ Mortar อุดปิดทับรอยต่อก่อนที่จะทำการหล่อคอนกรีตพื้นสะพานตามแบบ
4) ตรวจสอบระดับการติดตั้งโดยให้มีระดับความหนาของพื้นคอนกรีตที่หล่อทับบน Precast Form คงที่และเป็นไปตามแบบอาจใช้ Mortar หนุนเสริมใต้ Precast Form เพื่อให้วางอยู่ในระดับ Grade line ตลอดซึ่งทำให้ระดับความหนาของพื้นคอนกรีตที่หล่อคงที่ได้

<u>แบบหล่อพื้นสะพานตงคอนกรีตสำเร็จรูป</u>

ลักษณะจะเป็นคานขวางคู่จัดเป็นชุดๆ กล่าวคือ คู่ล่างจะวางบนปีกล่างของคานคอนกรีตอัดแรง แล้วใช้ค้ำยันเหล็กปรับระดับ (Shoring) วางพาดบนคานคู่ล่างเพื่อรองรับคานคู่บนซึ่งจะใช้เป็นตงรับแผ่นผิวท้องแบบ และขาค้ำยันที่ใช้พื้นปลายล่างจะมีแป้นเพื่อวางบนคานและมีแป้นล็อครูปตัวยูเพื่อรองรับคานตัวบน ส่วนขาประกอบด้วย ท่อสองส่วนสอดกันมีน็อตและสกรู ปรับระดับตามต้องการ และสามารถใช้ลดระดับเพื่อการถอดแบบอีกด้วย

<u>แบบหล่อพื้นสะพานนั่งร้านไม้</u>

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" และด้านบนสุดใช้ไม้อัดขนาดความหนาไม่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร ปูให้ผิวท้องพื้นเรียบตามแบบกำหนด

แบบหล่อพื้นสะพานทั้งสองแบบข้างต้น ต้องตรวจสอบความมั่นคง แข็งแรงของค้ำยันและโครงสร้างรองรับน้ำหนัก และเป็นไปตามที่คำนวณออกแบบไว้

ตรวจสอบการจัดวางเหล็กเสริมพื้นคอนกรีต

การเสริมเหล็กเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งมีขั้นตอนการตรวจสอบ ดังนี้

1) ตรวจสอบการจัดวางเหล็กเสริมหลัก ให้มีขนาด ความยาว ตำแหน่ง ทิศทาง ตามแบบกำหนด
2) ตรวจสอบเหล็กเสริมพิเศษ บนหลังคาน หรือจุดรับกำลังอื่นๆ ตามแบบกำหนด
3) ตรวจสอบระยะ Covering ระหว่างเหล็กกับผิวคอนกรีตทั้งด้านล่างและด้านบนให้เพียงพอ ส่วน Covering ด้านบนควรต้องเผื่อ เพื่อให้เพียงพอกับการวางเหล็กระดับด้านบนด้วย และ Covering ด้านล่างต้องมีลูกปูนหนุนเพื่อให้ได้ระยะ Covering ตามกำหนด

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

1) ตรวจสอบการลดระดับของบ่ารับคานบริเวณตอม่อที่เผื่อไว้สำหรับการโก่งของคานให้ถูกต้องเพื่อการเทคอนกรีตให้ได้ระดับและความหนาของพื้นสะพานที่กึ่งกลาง Span ตามแบบต่อไป ทั้งนี้ให้ถือว่าระดับที่ลดเผื่อนั้น คือ ระยะที่คานโก่งสูงสุดบริเวณกึ่งกลางคาน
2) ตรวจสอบระดับพื้นคอนกรีตก่อนการเทให้ถูกต้อง โดยต้องเผื่อระดับ (Camber) เนื่องจากการทรุดตัวของนั่งร้านและน้ำหนัก Dead load ตามภาพแสดงในภาคผนวก และใช้เหล็กระดับที่แข็งแรงพอเป็นระดับอ้างอิงที่ใช้เท (ส่วนใหญ่ใช้ท่อเหล็กแป๊บ) ซึ่งมีความยาวเพียงพอตลอดแนวการเทตามแนวขวางหรือตามแนวขนานกับ Traffic Direction โดยต้องจัดวางด้วยระยะ (Spacing) ในแนวขนานหรือตั้งฉากกับแนว Traffic Direction ตามลำดับและไม่ให้ระยะเกินกว่าความสามารถของคนงานที่ใช้ไม้สามเหลี่ยมปาดแต่งระดับ และขาหยั่ง (Bar Chair) เหล็กระดับต้องเชื่อมยึดให้มั่นคง และติดตั้งตามจำนวนที่เหมาะสม
3) ตรวจสอบแนวและระดับของแบบพื้นรวมทั้งระยะเผื่อการทรุดตัว
4) ตรวจสอบระดับของพื้นบนที่จะเทให้ถูกต้องตามแบบและความหนาให้ได้
5) ตรวจสอบค้ำยันรองรับพื้นแบบบนคานที่จะเท การฝัง Bolt Nut กับคานให้แน่นและแข็งแรง
6) ตรวจสอบการเสริมเหล็ก ชนิด ชั้นคุณภาพ จำนวน ระยะห่างและตำแหน่งให้ถูกต้องตามแบบ
7) ตรวจสอบขนาดและระยะห่างของเหล็กที่เสียบไว้สำหรับยึดราวสะพาน และท่อต่าง ๆ ตามแนวและตำแหน่งที่กำหนด
8) ตรวจสอบระบบการระบายน้ำบนพื้นสะพาน
9) ตรวจสอบความสะอาดของแบบพื้นก่อนเทคอนกรีต
10) ตรวจสอบรอยต่อบนพื้นสะพานให้ถูกต้องตามแบบ

งานเทคอนกรีต

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

งานหลังเทคอนกรีต

1) ควบคุมการปาดแต่งระดับโดยให้ใช้อุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเพียงพอที่จะกดปาดแต่งระดับได้ เช่น ไม้สามเหลี่ยม ขนาดประมาณ 1.5 – 2.0 เมตร การปาดแต่งระดับต้องให้ระดับที่ปาดแต่งพอดีกับระดับของเหล็กระดับที่วางไว้ถ้าต่ำไปให้เสริมคอนกรีตเพิ่มเข้าไป ถ้าสูงไปให้พยายามกดแล้วปาดคอนกรีตออกก่อนที่จะปาดแต่งระดับอีกครั้งหนึ่ง
2) การขัดแต่งผิวหน้าให้กระทำเมื่อคอนกรีตก่อตัวไปแล้วพอสมควรแต่บริเวณผิวหน้าต้องไม่แห้งถึงขั้นที่ขัดแต่งไม่ได้ สังเกตได้จากยังมีส่วนที่เป็นน้ำจากคอนกรีตอยู่บริเวณผิว
3) การขีดเส้นแต่งผิวหน้าให้รีบกระทำหลังจากขัดแต่งผิวหน้าก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว
4) การบ่มคอนกรีตต้องให้สม่ำเสมอทั่วถึงกันตลอดพื้นที่ที่เทคอนกรีตแล้วเสร็จ
5) การถอดแบบและค้ำยันให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตได้อายุมากพอหรือตามที่กำหนดไว้
6) การตรวจสอบระดับพื้นสะพานที่เทเสร็จแล้วอีกครั้งหนึ่งเพื่อดูว่าการเผื่อระดับไว้ก่อนเทคอนกรีตนั้นถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องให้ปรับเพิ่ม-ลด ตามความเหมาะสมเพื่อให้ระดับพื้นหลังก่อสร้างเสร็จเป็นไปตามแบบ

4.2.6 รอยต่อพื้นสะพาน (Expansion Joint)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้เกิดการยืดและหดตัวของพื้นสะพาน ซึ่งการยืดตัวและหดตัวมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาก่อสร้างพื้นสะพาน และความยาวช่วงของพื้นสะพาน รวมทั้งลักษณะพื้นสะพานที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ ปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบและวัสดุเพื่อ

ติดตั้งที่รอยต่อพื้นสะพาน ผลิตสำเร็จรูปจากโรงงานเป็นหลายรูปแบบ สามารถพิจารณาเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับขนาดความกว้างของรอยต่อพื้นสะพาน และได้ออกแบบโดยใช้แผ่นยางสังเคราะห์เป็นส่วนประกอบป้องกันน้ำไหลผ่านรอยต่อพื้นสะพาน

<u>การเตรียมงานก่อสร้าง</u>

1) ศึกษารูปแบบการก่อสร้าง และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องโดยละเอียด
2) เสนอ ชนิด รูปแบบ วิธีการติดตั้งและเอกสารประกอบ Expansion Joint ให้สำนักสำรวจและออกแบบ พิจารณาและให้ความเห็นชอบก่อนนำไปใช้งาน
3) ส่งตัวอย่างวัสดุเพื่อทดสอบคุณสมบัติตามข้อกำหนดในแบบ

<u>ขั้นตอนการก่อสร้าง</u>

1) ตรวจสอบตำแหน่งและขนาด Block Out Concrete บริเวณรอยต่อพื้นสะพานที่ทำการติดตั้ง Expansion Joint
2) ควบคุมการใส่หินคลุกหรือวัสดุอื่นให้เต็มพื้นที่ที่ Block Out Concrete บดอัดให้แน่น
3) ปูแอสฟัลต์คอนกรีตบนพื้นสะพานโดยต่อเนื่องตามแบบกำหนด (ถ้ามี) รวมทั้งบริเวณพื้นที่ที่ Block Out Concrete
4) ตัดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตตามแนวที่ Block Out ให้ตรงตามตำแหน่งที่กำหนด
5) รื้อวัสดุผิวทางและหินคลุกออกจากบริเวณพื้นที่ที่ Block Out ไว้ให้หมด พร้อมทำความสะอาด
6) ติดตั้งเหล็กเสริมในบริเวณรอยต่อพื้นสะพานตามแบบกำหนด
7) ติดตั้ง Joint ทั้งสองด้านให้ได้ตำแหน่งและระดับโดยยึดติดกับอุปกรณ์ Setting Rulers ปรับความกว้างของ Joint ให้เหมาะสมกับอุณหภูมิและรายการคำนวณตามแบบกำหนด
8) ตรวจสอบความถูกต้องตามแบบรายละเอียด และใช้น้ำยาประสานระหว่างคอนกรีตเก่าและใหม่ก่อนเทคอนกรีต
9) ขณะเทคอนกรีตต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) และได้ระดับตามแบบกำหนด
10) บ่มคอนกรีตรอยต่อพื้นสะพาน โดยคลุมด้วยกระสอบชุ่มน้ำหรือฉีดน้ำยาบ่มคอนกรีต
11) กรณีเป็น Expansion Joint แบบที่มีสลักเกลียวยึดให้ดำเนินการขันสลักเกลียวเมื่อความสามารถรับแรงอัดของคอนกรีตเกิน 80% ของกำลังอัดที่ 28 วัน หยอดปิดหัวสลักเกลียวด้วย Pure tar
12) ใส่ยางกันน้ำในรอยต่อ Expansion Joint ตามแบบกำหนด

<u>ข้อควรระวัง</u>

1) การติดตั้ง Joint ต่างๆ บนพื้นสะพานนั้น หลักสำคัญต้องตรวจสอบระดับให้ถูกต้องเพื่อให้รอยต่อเสมอกัน และยังต้องคำนึงถึงวิธีการในการติดตั้งให้สมบูรณ์เป็นไปตามข้อกำหนดจากแบบก่อสร้างด้วย

2) การเชื่อมสำหรับรอยต่อชนิดใช้แผ่นเหล็กจะต้องทำให้เหล็กรูปตัว U ที่ใช้เสริมยึดระหว่างแผ่นเหล็กกับเนื้อคอนกรีตเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กให้สนิทและสมบูรณ์อย่าให้หลุดได้ พร้อมทั้งตรวจสอบระดับที่ติดตั้งให้ถูกต้องตามแบบ
3) ส่วนที่เป็นคอนกรีตใน Block Out บริเวณ Joint ต้องใช้วัสดุที่ไม่หดตัว ให้ใช้ Non Shrink Concrete เป็นตัวประสานระหว่าง คอนกรีตกับ Joint เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกระหว่างคอนกรีตกับ Joint และน้ำซึมลงไปใน Joint ได้ อีกทั้งยังป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตที่เทใหม่
4) การเทคอนกรีตใน Block Out หากไม่สามารถใช้น้ำยาประสาน (Epoxy Bonding) เพื่อประสานระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตใหม่ ควรจะรดน้ำให้คอนกรีตเดิมชุ่มน้ำอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ก่อนเทคอนกรีตใหม่ลงใน Block Out และหากมีการใช้น้ำยาประสานคอนกรีตต้องดำเนินการให้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตผลิตภัณฑ์นั้นโดยเคร่งครัด
5) ต้องตรวจสอบการปรับระดับคอนกรีตให้ถูกต้องและเสมอกับระดับบนของ Joint
6) การติดตั้งรอยต่อต้องให้ Joint แนบสนิทกับเนื้อคอนกรีตไม่ให้เกิดช่องว่างใต้ Joint ได้ เพราะถ้าติดตั้งไม่แนบสนิทแล้ว เมื่อเปิดการจราจรแล้วอาจเกิดแรงกระแทก ทำให้คอนกรีตบริเวณรอยต่อเกิดการแตกร้าวได้
7) กรณีกำหนดให้ปูยางแอสฟัลต์คอนกรีตทับบนผิวสะพานคอนกรีต ต้องหลีกเลี่ยงวิธีการก่อสร้าง Expansion Joint ก่อนการปูยางแอสฟัลต์คอนกรีต เพราะจะทำให้รอยต่อพื้นสะพานไม่เรียบ เมื่อรถวิ่งผ่านจะทำให้สะดุดหรือกระโดด ให้ปูยางแอสฟัลต์คอนกรีตก่อน ตลอดพื้นสะพานและบริเวณ Block Out ของรอยต่อพื้นสะพาน แล้วจึงตัดรื้อยางออกเพื่อติดตั้ง Expansion Joint และเทคอนกรีต

4.2.7 ทางเท้า ขอบทางและราวสะพาน

1) ตรวจสอบแนว และระดับให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง
2) ตรวจสอบขนาดต่าง ๆ ของแบบ รวมถึงตำแหน่งที่ติดตั้งให้ถูกต้องตามแบบ
3) ตรวจสอบและควบคุมงานเทคอนกรีตให้เป็นไปตามภาคผนวก ก

บทที่ 5 ทางลอด (Underpass)

การแก้ไขปัญหาจราจรบริเวณทางแยก ที่มีปริมาณการจราจรสูง ส่วนใหญ่แก้ไขปัญหาโดยการก่อสร้างสะพานลอยข้ามทางแยก (Overpass) หรือก่อสร้างเป็นทางแยกต่างระดับ (Interchange) เพื่อลดจุดตัดของทิศทางการจราจร แต่ปัจจุบันในเมืองใหญ่ๆที่มีการจราจรคับคั่ง กรมทางหลวงได้เริ่มดำเนินการออกแบบและก่อสร้างทางลอด (Underpass) เพื่อแก้ปัญหาการจราจรบริเวณทางแยก ทั้งยังเป็นการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม การบดบังทัศนียภาพ และการใช้ประโยชน์ของอาคารบริเวณทางแยก การก่อสร้างทางลอดของกรมทางหลวงในปัจจุบันใช้วิธีการแบบขุดเปิด (Open Cut) โดยมีรูปแบบการก่อสร้างโครงสร้างที่เป็นส่วนป้องกันดินพังคือ กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กขุดเจาะหล่อในที่ เช่น Diaphragm Wall, Tangent Pile Wall และ Secant Pile Wall และบริเวณส่วนปลายทางลอดทั้งสองด้านต้องมีงานปรับระดับเพื่อเชื่อมกับถนนช่วงขึ้นลงทางลอดโดยออกแบบเป็นกำแพงกันดิน (Retaining Wall) ให้ทำหน้าที่ป้องกันดินถมบริเวณเชิงลาดนั้น สำหรับงานก่อสร้างทางลอดจะก่อสร้างกำแพงกันดิน(Retaining Wall) ให้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างด้านปลายทางลอด โดยตั้งอยู่บนพื้นคอนกรีตทางลอด (Bottom Slab) งานก่อสร้างทางลอดต้องใช้เครื่องมือ เครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์เฉพาะ ระหว่างก่อสร้างต้องมีการตรวจสอบความสมบูรณ์คุณภาพในการทำงานอย่างสม่ำเสมอ

5.1 ข้อมูลเบื้องต้น

5.1.1 รูปแบบและสัญญาก่อสร้างที่ประกอบไปด้วยค่าระดับดินเดิมและค่าระดับก่อสร้าง ค่าระดับและมิติของโครงสร้าง ความสูงของช่องลอด (Clearance) หรือรายละเอียดอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

5.1.1.1 ข้อมูลชั้นดิน (Boring log) ของสภาพดินเดิม บริเวณก่อสร้าง

5.1.1.2 ขนาดและรายละเอียดของผนังนำร่อง(Guide Wall) ค่า k การเคลื่อนตัวในแนวดิ่งที่ยอมให้ไม่เกิน 1:200 และเบี่ยงเบนจากแนวศูนย์กลางได้ไม่เกิน 15 มม. หรือตามแบบกำหนด

5.1.1.3 ขนาดและความกว้างของผนังพืด (Diaphragm Wall)

5.1.1.4 รายละเอียดรอยต่อ ระบบกันซึมระหว่างผนังพืด

5.1.1.5 ขั้นตอนการขุดและการเทคอนกรีตผนังพืด

5.1.2 ข้อมูลประกอบของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (Drilling Fluid หรือ Support Fluid)

5.1.2.1 รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการผสม การใช้งาน การขนถ่าย

5.1.2.2 การทำความสะอาด การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกลศาสตร์เพื่อนำมาใช้อีก

5.1.3 ข้อมูลประกอบในการตรวจสอบการทำงาน

5.1.3.1 การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างอาคารบริเวณใกล้เคียงก่อนและหลังการก่อสร้าง

5.1.3.2 ค่าพิกัดต่างๆของผนังพืด (Diaphragm Wall) และค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งที่ยอมให้ของผนังพืดที่เกิดจากการขุด ไม่เกิน 1:120 หรือตามแบบกำหนด

5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

5.2.1 เครื่องจักรขุดดินสำหรับก่อสร้างผนังพืดแบบ Cable hang Grab (รูปที่ 5.1)

5.2.2 เครื่องแยกตะกอนทรายออกจากของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (Desander Unit) (รูปที่ 5.2)

5.2.3 เครื่องผสมของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (รูปที่ 5.3)

5.2.4 เครื่องสูบของเหลวพยุงเสถียรภาพออกจากหลุมเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8" เพื่อนำมาปรับปรุงคุณสมบัติให้เป็นไปตามข้อกำหนด (รูปที่ 5.4)

5.2.5 เครื่องสูบของเหลวพยุงเสถียรภาพเข้าไปในหลุมเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4" เพื่อนำของเหลวพยุงเสถียรภาพที่ได้มาตรฐานเข้าไปแทนที่ดินที่ขุดออก (รูปที่ 5.5)

5.2.6. รถยกตีนตะขาบ (Crawler Crane) (รูปที่ 5.6)

5.2.7 ถังเก็บพร้อมของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะที่มีความจุไม่น้อยกว่า 2.5 เท่าของปริมาณที่ใช้สำหรับหลุมเจาะแต่ละครั้ง (รูปที่ 5.7)

5.2.8 ชุดทดสอบคุณสมบัติของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (รูปที่ 5.8)

5.2.9 แบบหล่อปิดปลายผนังพืด (Stop End Plates) ที่มีช่องสำหรับติดตั้งแผ่นยางกันน้ำรั่วซึมใช้สำหรับกั้นปลายร่องขุดเพื่อเทคอนกรีต (รูปที่ 5.9)

5.2.10 ท่อสำหรับเทคอนกรีต (Tremie Pipe) ใช้สำหรับเทคอนกรีตลงในหลุมที่ขุดเจาะ (รูปที่ 5.10)

5.2.11 แผ่นยางกันน้ำรั่วซึมระหว่างผนังพืด (Water Stop) (รูปที่ 5.11)

5.2.12 รถ Backhoe ทำหน้าที่ขุดดินและแต่งดินคันทาง

5.2.13 รถบดอัดชั้นดิน ล้อยางและล้อเหล็ก

5.2.14 รถ Grader ทำหน้าที่ปรับระดับดินให้ได้ตามแบบที่กำหนด

รูปที่ 5.1 เครื่องจักรขุดดินสำหรับก่อสร้างผนังพืดแบบ Cable Hang Grab

รูปที่ 5.2 เครื่องแยกตะกอนทรายออกจากของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (Desander Unit)

รูปที่ 5.3 เครื่องผสมของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ

รูปที่ 5.4 เครื่องสูบของเหลวพยุงเสถียรภาพออกจากหลุมเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8"

รูปที่ 5.5 เครื่องสูบของเหลวพยุงเสถียรภาพเข้าไปในหลุมเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4"

รูปที่ 5.6 รถยกตีนตะขาบ (Crawler Crane)

รูปที่ 5.7 ถังเก็บของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ

รูปที่ 5.8 ชุดทดสอบคุณสมบัติของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ

รูปที่ 5.9 แบบหล่อปิดปลายผนังพืด (Stop End Plates)

รูปที่ 5.10 ท่อสำหรับเทคอนกรีต (Tremie Pipe)

รูปที่ 5.11 แผ่นยางกันน้ำรั่วซึม (Water Stop)

5.3 การก่อสร้างแบบเปิดหน้าดิน (Open Cut)

5.3.1 วางแนวศูนย์กลางและแนวความกว้างของทางลอดที่จะขุด พร้อมทั้งตรวจสอบระดับในแต่ละจุดตามแนวที่จะขุดว่ามีความลึกเท่าใด โดยตรวจสอบจากแบบและวางหมุดเครื่องหมายต่าง ๆ ลงบนพื้นที่จะก่อสร้างให้เห็นชัดเจนและง่ายต่อการตรวจสอบ

5.3.2 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

5.3.3 การขุดดินเพื่อก่อสร้าง Diaphragm Wall ในแต่ละแผง Diaphragm Wall จะขุดดินขึ้นมาโดยใช้เครื่องจักรแบบไฮดรอลิค (Hydraulic Grab Machine) ซึ่งอยู่ติดกับ Boom ของรถเครนตีนตะขาบ และยึดติดด้วยสายสลิงโดยมีสายไฮดรอลิค เป็นตัวบังคับตัว Grab สำหรับเปิดและปิดในการขุดดิน และในระหว่างขุดจะต้องรักษาระดับของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะให้อยู่เหนือส่วนล่างสุดของ Guide Wall เพื่อป้องกันการพังทลายของดิน โดยขุดไปต้องเติมของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะลงไปเรื่อย ๆ และค่าความเข้มข้นของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ในการก่อสร้าง Panel ต้องมีการติดตั้ง Water Stop พร้อมกับ Stop End ไว้ที่ปลายที่จะก่อสร้างแผงถัดไป

5.3.4 การตรวจสอบ

5.3.4.1 ตรวจสอบแนวดิ่งของการขุด โดยสังเกตจากสายไฮดรอลิคหรือสายสลิง เทียบกับ Guide Wall หรือจะใช้กล้องแนวก็ได้ ปกติในห้องคนขับเครื่องมือขุดจะมี Meter สำหรับบอกความลึก และแนวดิ่งที่ขุดอยู่ด้วย แต่ถึงอย่างไรจะต้องตรวจสอบความลึกอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้เทปวัดอย่างน้อย 6 จุด คือ ที่มุมทั้งสี่ด้านและกึ่งกลาง Panel ทั้ง 2 ข้างเปรียบเทียบกับ Meter จากเครื่องขุดว่าตรงกันหรือไม่

5.3.4.2 ตรวจสอบของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะทันทีที่การขุดแผง Diaphragm Wall แล้วเสร็จแต่ละ Panel ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะที่ดูดขึ้นมาจากก้นหลุมของแต่ละ Panel อาจมีสิ่งปลอมปนทำให้คุณภาพไม่ดีต้องส่งผ่านไปยังเครื่องแยกทราย (Desander) แล้วทำการตรวจสอบคุณสมบัติก่อนที่จะนำไปใช้ต่อไป โดยทำการทดสอบหาค่า Viscosity, Density, Sand Content และ PH ให้เป็นไปตามข้อกำหนด ถ้าหากค่าตัวใดมีคุณสมบัติไม่ได้ตามข้อกำหนด ให้ทำการปรับปรุงให้ได้เสียก่อน โดยการเพิ่มของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเข้าไปจนกระทั่งสารละลายที่ Recycle มีคุณสมบัติได้ตามข้อกำหนดแล้วจึงนำไปใช้ต่อได้ และเมื่อนำไปใช้ให้ตรวจสอบคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะในหลุมที่ขุดอีกครั้งให้ได้ตามข้อกำหนดก่อนใส่เหล็กเสริม

5.3.5 เหล็กเสริม

5.3.5.1 เมื่อตรวจสอบความลึก ความกว้าง และแนวดิ่งเรียบร้อยแล้วจึงนำเอาเหล็กเสริมที่ผูกเตรียมไว้ใส่ลงไปใน Panel ที่ขุดไว้ บางครั้ง Panel มีความลึกมากจำเป็นต้องมีการต่อเหล็กเสริม อาจจะใช้วิธีเชื่อมหรือใช้ตัว Clamp ยึดติด ทั้งนี้ให้เป็นไปตามข้อกำหนดการต่อเหล็กเสริมทั่วไป และในการใส่เหล็กจะต้องมีลูกปูนผูกเป็นระยะ โดยมีความหนาเท่ากับความหนาของคอนกรีต Covering

5.3.5.2 สำหรับตำแหน่งที่ยึดพื้นทางลอดเข้ากับ Diaphragm Wall นั้นจะต้องมี Coupler สำหรับต่อเหล็กเสริมของพื้นทางลอดกับแผง Diaphragm Wall เข้าด้วยกันตามระดับที่แบบกำหนดและตรงจุดดังกล่าวจะต้องทำเป็น Block Out โดยใช้ไม้อัดและโฟมผูกยึดติดกับแผงเหล็กไว้เพื่อสะดวกในการหาตำแหน่ง Coupler ภายหลังจากการขุดเปิดหน้าดิน

5.3.6 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 โดยทำการทดสอบอย่างน้อย ตัวอย่างละ 3 ชุด หรือแล้วแต่ความจำเป็น ซึ่งอาจจะมากกว่านี้ได้ เพื่อที่จะทราบผลและปรับปรุงสำหรับการก่อสร้าง Panel อื่นต่อไป

5.3.7 การเทคอนกรีต

การเทคอนกรีตโดยใช้คอนกรีตผสมเสร็จและเทโดยใช้ท่อ Tremie เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนและให้แน่ใจว่าคอนกรีตคุณภาพดีมีความหนาแน่นในการเทอย่างต่อเนื่อง ก่อนเทควรทดสอบ Slump ให้ได้ตามที่กำหนด โดยการเทผ่านท่อ Tremie Pipe ขนาด ∅10" ที่มี Plug ซึ่งใช้วัสดุโฟมเพื่อป้องกันมิให้คอนกรีตแยกตัว (Segregation) และป้องกันคอนกรีตไม่ให้ไปสัมผัสกับสารละลาย Slurry ที่ทำหน้าที่ป้องกันผนังหลุมเจาะพังโดยตรง เมื่อเทคอนกรีตลงใน Tremie Pipe คอนกรีตจะดัน Plug ออกไปทางปลายท่อด้านล่างซึ่งอยู่เหนือก้นหลุมเพียงเล็กน้อยพอให้คอนกรีตไหลได้สะดวก คอนกรีตที่พุ่งออกมาอย่างแรงจะดันตะกอนก้นหลุมที่อาจมีอยู่บ้าง และ Plug ให้ลอยขึ้นมาจึงจะมีแต่คอนกรีตดีลงไปแทนที่อยู่ก้นหลุม และเพื่อป้องกันมิให้ตะกอนหรือสาร Slurry เข้ามาปะปนกับคอนกรีตดีได้ ในระหว่างการเทคอนกรีตจะต้องรักษาปลาย Tremie Pipe ให้จมอยู่ในคอนกรีตตลอดเวลา โดยมีระยะจมอย่างน้อย 2.0 เมตร ตะกอนและสาร Slurry จึงจะถูกดันลอยขึ้นมาตลอดเวลา จนมาอยู่ส่วนบน Panel เมื่อเทคอนกรีตจนได้ระดับแล้วจะต้องมีส่วนเผื่อสำหรับสกัดเอาส่วนบนของ Panel ออกประมาณ 1เมตร หรือถึงส่วนของเนื้อคอนกรีตที่มีคุณภาพดีตามข้อกำหนด

5.3.8 เสาเข็มรับพื้นทางลอด (Base Slab)

อาจจะเป็นเสาเข็มตอกหรือเสาเข็มเจาะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแบบก่อสร้าง แต่ระดับหัวเสาเข็มจะต้องตัด ให้ได้ระดับตาม Profile ของระดับพื้นทางลอด และให้สูงกว่าเล็กน้อย โดยระหว่างก่อสร้างเสาเข็ม จะตรวจสอบและวัดระดับความลึก โดยอ้างอิงจากระดับผิวดินเดิมเป็นหลัก ให้ได้ระดับหัวเสาเข็มตามต้องการ เมื่อแล้วเสร็จแล้วจะต้องกลบหลุม เพื่อป้องกันคนหรือสิ่งของตกหล่นลงไปในหลุมหัวเสาเข็ม

5.3.9 การขุดดินออกเพื่อก่อสร้าง Base Slab

5.3.9.1 ก่อนขุดจะต้องสกัดผนัง Guide Wall ออก

5.3.9.2 ก่อสร้าง Waling Beam ยึดบนกำแพง Diaphragm Wall โดย Block Out ช่องสำหรับเทคอนกรีต Finishing ภายหลังทุก ๆ ระยะ 2 เมตร ด้วย

5.3.9.3 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

5.3.9.4 เมื่อขุดถึงระดับที่จะทำ Base Slab แล้วจึงปรับแต่งด้วยทรายและเทคอนกรีตหยาบให้ได้ตามรูปแบบของท้องพื้น Base Slab ที่จะก่อสร้าง

5.3.10 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

5.3.11 การตกแต่ง (Finishing)

ผิวของ Diaphragm Wall ด้านในอาจไม่เรียบร้อย เนื่องจากการพังทลายของผนังดิน จึงต้องมีการตกแต่งผิวใหม่ดังนี้

5.3.11.1 สกัดผิวส่วนที่นูนและล้างทำความสะอาดโดยการฉีดน้ำแรงดันสูง

5.3.11.2 ซ่อมรอยรั่วต่างๆ ที่เกิดขึ้นใน Diaphragm Wall โดยใช้น้ำยา Epoxy หรือสารที่ฉีดเข้าไปป้องกันการรั่วซึมต่างๆ

5.3.11.3 เจาะผนังเพื่อเสียบเหล็ก Dowel และเข้าแบบเพื่อเทคอนกรีต Finishing หนาประมาณ 20 เซนติเมตร หรือตามแบบกำหนด

5.3.11.4 เทคอนกรีต Finishing ทางช่องที่ Block Out ไว้บน Welding Beam

5.3.11.5 หลังจากถอดแบบถ้าผิวยังไม่เรียบร้อยให้ตกแต่งผิวอีกครั้งให้เรียบร้อย

5.4 ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

5.4.1 ศึกษารูปแบบรายละเอียดการก่อสร้าง และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องโดยละเอียด

5.4.2 ตรวจสอบหมุดหลักฐานที่ใช้วางแนวการสำรวจและหมุดระดับทุกตัวที่พบในบริเวณก่อสร้างว่าถูกต้องตามแบบกำหนดหรือไม่ หากมีการคลาดเคลื่อนเกินกว่าการแก้ไขปรับปรุงที่ยอมให้ต้องแจ้งสำนักฯเจ้าของงาน

5.4.3 ทำการสำรวจวางแนวศูนย์กลางและแนวความกว้าง ยาว ของทางลอดที่จะขุดเปิดให้เป็นไปตามแบบกำหนด รวมถึงการสำรวจระบบสาธารณูปโภคที่กีดขวางการก่อสร้างอย่างละเอียดทั่วถึงเพื่อการรื้อย้าย

5.4.4 จัดทำค่าระดับจากหมุดหลักฐานอ้างอิงในบริเวณพื้นที่ก่อสร้างและตรวจสอบค่าระดับโดยละเอียด เพื่อให้เกิดความถูกต้องในการกำหนดระดับความสูงของโครงสร้างทางลอดต่าง ๆ รวมทั้งกำแพงกันดินด้วย

5.4.5 จัดทำแบบรายละเอียดก่อสร้าง (Shop Drawings) ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน

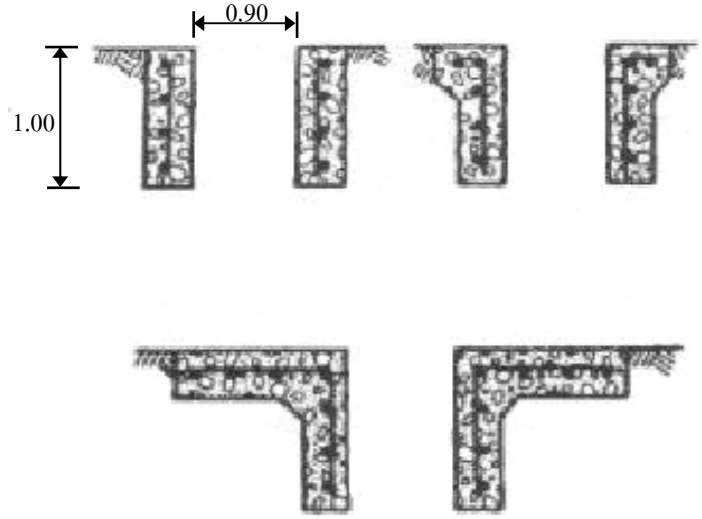
5.4.6 จัดเตรียมแผนการจราจรระหว่างการก่อสร้างพร้อมติดตั้งป้ายสัญญาณจราจร ไฟฟ้าแสงสว่าง ตามแบบของกรมทางหลวงเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ถนน

5.4.7 ตรวจสอบความพร้อมของผู้รับจ้างเช่น การจัดเตรียมวัสดุ เครื่องจักร เครื่องมืออุปกรณ์ก่อสร้าง รวมทั้งบุคลากร ให้เป็นไปตามรายละเอียดแผนการดำเนินงานที่ได้รับการอนุมัติเห็นชอบ

5.4.8 กำหนดแนว ขนาด ผนังนำร่อง (Guide Wall) เพื่อความสะดวกในการทำงาน

5.5 ขั้นตอนการก่อสร้าง

5.5.1 ก่อสร้างผนังนำร่อง (Guide Wall) เป็นกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กลึกประมาณ 1.00 เมตร หนาประมาณ 0.3-0.50 เมตร และระยะห่างระหว่างผนังนำร่อง ควรกว้างกว่ากำแพงผนังพืด (Diaphragm Wall) ประมาณ 25 - 50 มม. มีความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งของผนังนำร่องไม่เกิน 1:200 และเบี่ยงเบนจากแนวศูนย์กลางได้ไม่เกิน 15 มม. ต่อความยาวผนัง 3 เมตร

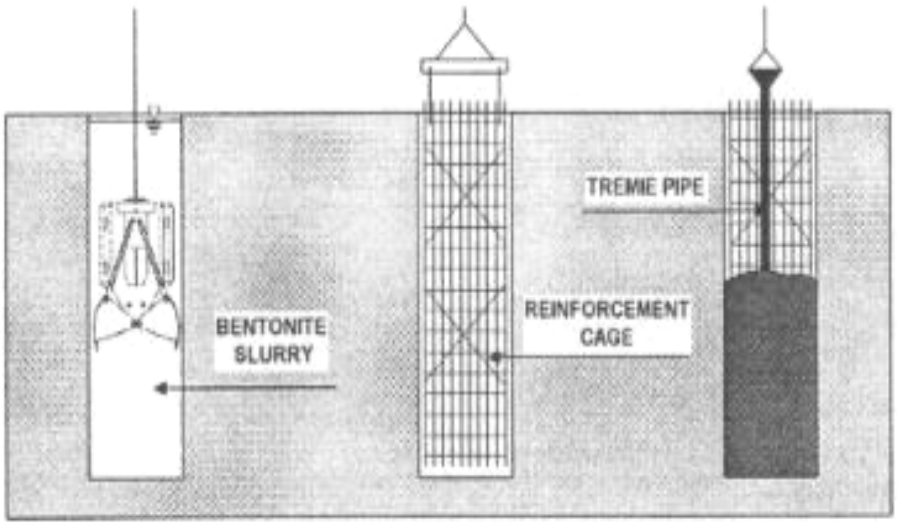


รูปที่ 5.12 แบบต่างๆของ Guide Wall

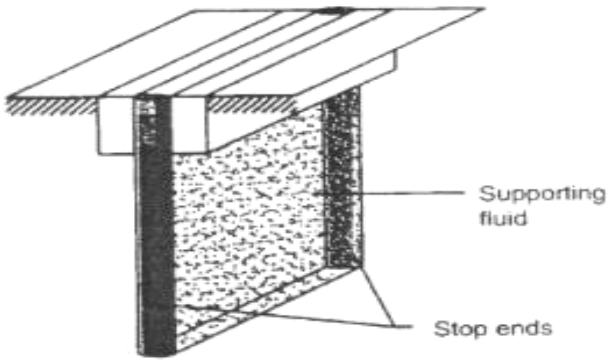
5.5.2 ขุดดินระหว่างช่องผนังนำร่อง (Guide Wall) เพื่อก่อสร้างผนังพืด (Diaphragm Wall) ให้ได้ความลึกตามที่กำหนด ในระหว่างการขุดต้องเติมของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะแทนที่ดินขุด เพื่อป้องกันผนังหลุมขุดพัง ต้องรักษาคุณภาพของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะให้เป็นไปตามข้อกำหนดและให้มีระดับความสูงไม่ต่ำกว่าส่วนล่างของผนังนำร่อง

5.5.3 อ่านค่าความลึกหลุมขุดจาก Meter ที่ติดตั้งบนเครื่องมือขุดและอาจตรวจสอบความลึกโดยใช้เทปวัดอย่างน้อย 6 จุด คือที่มุมทั้งสี่ด้าน และกึ่งกลาง Panel ทั้งสองข้าง

5.5.4 จดบันทึกรายละเอียด ข้อมูลความหนาของชั้นดิน ความลึกของหลุมขุด คุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ



รูปที่ 5.13 ขั้นตอนการก่อสร้าง Diaphragm Walls



รูปที่ 5.14 การติดตั้ง Stop End Plates

5.5.5 ติดตั้งแบบหล่อปิดปลายผนังพืด (Stop End Plate) ที่ออกแบบให้สามารถติดตั้งแผ่นยางกันน้ำ (Water Stop) ในแนวดิ่งได้ และนำของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนด ลงในของเหลวในหลุมเจาะ

5.5.6 ตรวจสอบความลึก ความกว้าง และความดิ่งแล้ว นำเหล็กเสริมที่ผูกเตรียมไว้ตามแบบกำหนดติดตั้งในหลุมเจาะที่ขุดไว้

5.5.7 ทำการเทคอนกรีตผ่านท่อ Tremie ที่ต่อยาวลงไปถึงก้นหลุมเพื่อป้องกันการแยกตัว (Segregation) ของส่วนผสมคอนกรีต ก่อนเทต้องทดสอบ Slump ให้ได้ตามข้อกำหนดและเก็บตัวอย่างทุกครั้งเมื่อมีการเทคอนกรีต ระหว่างการเทคอนกรีตต้องควบคุมให้ปลายของท่อ Tremie จมอยู่ในคอนกรีตอย่างน้อย 1 เมตรตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนดินหรือตะกอนของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเข้ามาปะปนกับคอนกรีต ต้องเทคอนกรีตให้สูงกว่าระดับที่ต้องการ (Cut-Off) ไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร ในกรณีที่พบคอนกรีตไม่ดีใต้ระดับ Cut off ให้สกัดออกจนถึงคอนกรีตที่ดี

5.5.8 ภายหลังจากก่อสร้างผนังพืดแล้วเสร็จและสามารถรับกำลังได้ตามข้อกำหนด ให้สกัดผนังนำร่อง (Guide Wall) ออกแล้วทำการก่อสร้างคานยึด (Cap Beam) บนผนังพืด

5.5.9 กรณีที่แบบให้ก่อสร้างเสาเข็มรับพื้นทางลอด (Base Slab) วิธีการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามรายละเอียดงานเสาเข็มตอกหรือเสาเข็มเจาะตามแบบกำหนด

5.5.10 ขณะทำการขุดดินระหว่างผนังพืดเพื่อก่อสร้างพื้นทางลอด (Base Slab) ต้องตรวจสอบการเคลื่อนตัวของผนังพืด (Diaphragm Wall) หากมีการเคลื่อนตัวของผนังพืดเกินกว่า 10 มิลลิเมตรที่ระดับความลึกไม่เกิน 3 เมตร หรือเกินกว่า 20 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึกระหว่าง 3 ถึง 6 เมตรหรือเกินกว่า 25 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึกเกิน 6 เมตร ต้องหยุดดำเนินการขุดดินและหาแนวทางวิธีการป้องกันแก้ไข

5.5.11 ขุดดินออกพร้อมทั้งปรับดินพื้นที่ก่อสร้างหลังจากขุดดินแล้วตามค่าระดับที่กำหนดจากแบบรายละเอียดก่อสร้าง (Shop Drawings) แล้วทำการก่อสร้างพื้นทางลอด (Base Slab) โดยให้ขุดลึกจนถึงระดับตามแบบกำหนด พร้อมทั้งให้มีวิธีป้องกันการรั่วซึมของน้ำผ่านพื้นทางลอดเนื่องจากไม่สามารถเทคอนกรีตให้แล้วเสร็จในคราวเดียว

5.5.12 กำหนดระดับและความกว้าง ความยาว ระดับคอนกรีตหยาบ แล้วเทคอนกรีตหยาบ (Lean Concrete) รองพื้นทางลอด

5.5.13 กำหนดตำแหน่งของพื้นทางลอด (Base Slab) และแนวกำแพงกันดิน (Retaining Wall) เพื่อความถูกต้องในการผูกเหล็ก

5.5.14 ประกอบแบบพื้นพร้อมกับการผูกเหล็กเสริมพื้น ส่วนเหล็กกำแพงกันดินให้ผูกยึดกับเหล็กพื้นทางลอด ตามแนวตำแหน่งกำแพงกันดินที่ได้กำหนดไว้ เหล็กกำแพงกันดินถ้ามีความสูงมากต้องยึดและค้ำไว้ไม่ให้ล้มหรือเอียง

5.5.15 กำหนดระดับเทคอนกรีตของพื้นทางลอดโดยความหนาต้องไม่น้อยกว่าแบบกำหนด

5.5.16 เทคอนกรีตพื้นทางลอดโดยให้เทต่อเนื่องจนแล้วเสร็จ

5.5.17 เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงทำการบ่มคอนกรีต อาจใช้วิธีขังน้ำหรือคลุมด้วยกระสอบชุ่มน้ำ

5.5.18 กำหนดระดับความสูงกำแพงกันดินตามแบบรายละเอียด (Shop Drawings)

5.5.19 ผูกเหล็กเสริมกำแพงกันดิน ตรวจสอบให้มีระยะหุ้มของคอนกรีต (Covering) ตามแบบกำหนด

5.5.20 ประกอบแบบกำแพงกันดินทั้ง 2 ด้าน ตรวจสอบความดิ่ง ต้องไม่เกิน 1:200 พร้อมรัดแบบยึดและค้ำยันให้แข็งแรง ระยะคลาดเคลื่อนของแนวกำแพงต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิเมตร หรือตามที่แบบกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น

5.5.21 รอยต่อแบบทุกแผ่นต้องใส่ฟองน้ำอุดรอยรั่ว เพื่อป้องกันน้ำปูนไหลออกขณะเทคอนกรีต

5.5.22 ขอบ และมุมของกำแพงทุกส่วนต้องใส่บัวลบมุมตามแบบกำหนดเพื่อป้องกันมุมคอนกรีตแตก

5.5.23 กรณีต้องมีการหยุดเทคอนกรีต และเทต่อภายหลัง ควรมีการป้องกันรอยต่อคอนกรีตไม่ให้น้ำซึมผ่านได้โดยทำเป็น Key ให้น้ำซึมผ่านได้ยาก หรือใส่แผ่นยางกั้นน้ำ (Water Stop) หรือตามข้อกำหนดระบุไว้ในแบบ

5.5.24 การเทคอนกรีตกำแพงแต่ละจุด ควรมีความหนาคอนกรีตไม่เกิน 0.50 เมตร ต้องเทคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง และใช้อุปกรณ์ทำให้คอนกรีตแน่นตัวขณะเท

5.5.25 การเทคอนกรีตหากผนังกำแพงกันดินมีความสูงเกินกว่า 2.00 เมตร การเทคอนกรีตต้องใช้ท่อกรวยช่วยในการเทคอนกรีตเพื่อป้องกันการแยกตัวของส่วนผสม

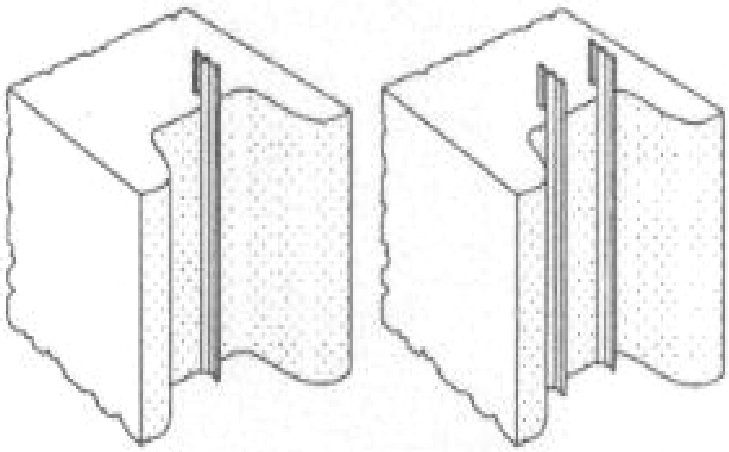
5.5.26 คอนกรีตส่วนที่ยังคงมีการก่อสร้างคอนกรีตต่อเนื่องให้ทำผิวปูนเป็นรอยขรุขระเพื่อการประสานกันของคอนกรีตเก่าและใหม่

5.5.27 เมื่อคอนกรีตได้อายุครบกำหนดสามารถถอดแบบได้แล้วต้องรีบทำการบ่มคอนกรีตทันทีเพื่อป้องกันการแตกร้าว

5.5.28 ภายหลังการถอดแบบ หากคอนกรีตมีความบกพร่อง ต้องรีบดำเนินการแก้ไขซ่อมแซมโดยความเห็นชอบของนายช่างควบคุมงาน

5.5.29 ตกแต่งผิวของผนังพืดหรือกำแพงกันดิน (Finishing) ด้านในด้วยแผ่นหินแกรนิตแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จหรือตามแบบกำหนด

5.5.30 ตรวจสอบการแตกร้าวของผนัง การรั่วซึมของน้ำในอุโมงค์ทางลอด หากเกิดขึ้นให้ดำเนินการแก้ไข



รูปที่ 5.15 วิธีการติดตั้งแผ่นยางกันน้ำรั่วซึมกับแบบปิดปลายหลุมขุด

บทที่ 6 โครงสร้างคอสะพาน (Bridge Approach Structure)

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

6.1 องค์ประกอบของ Bridge Approach Structure

6.1.1 โครงสร้างส่วนล่าง (Substructure)

6.1.1.1 ฐานราก เป็นเสาเข็มตอก (Driving Pile) หรือเสาเข็มเจาะ (Bored Pile) ในกรณีที่ก่อสร้างในเขตชุมชม หรือชิดกับโครงสร้างอื่นที่อาจเกิดความเสียหายจากการตอกเสาเข็ม

6.1.1.2 คานคอดิน (Ground Beam) และ**แท่นหัวเข็ม** (Pile Cap) เป็นโครงสร้าง คสล. ส่วนล่างของ Bridge Approach Structure คานคอดินมีทั้งแนวตามยาวและตามขวาง ทำหน้าที่โยงยึดระบบโครงสร้าง ระดับท้องคานคอดินควรอยู่ที่ระดับดินเดิม หรือตามแบบกำหนด

6.1.1.3 เสา (Column) เสาภายใน Bridge Approach Structure ถูกออกแบบให้มีช่วงระยะห่างไม่มากนักเพื่อกระจายการรับน้ำหนักเสาอาจมีแถวเดียว หรือหลายแถวขึ้นอยู่กับความกว้างสะพาน

6.1.1.4 กำแพง (Wall) เป็นโครงสร้างด้านข้างตามแนวยาวของสะพาน ทำหน้าที่กระจายน้ำหนักลงสู่คานคอดินและฐานราก อาจมีช่องเปิดตามแบบกำหนด

6.1.1.5 คานบน (Upper Beam) เป็นคาน คสล. ตามแนวยาวและอาจมีตามแนวขวางออกแบบให้รองรับและกระจายน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบน (Superstructure) ลงสู่เสา

6.1.2 โครงสร้างส่วนบน (Superstructure)

6.1.2.1 พื้นสะพาน (Topping Slab) เป็นโครงสร้างส่วนบนสุดที่เป็นผิวจราจร

6.2 ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

- ทำการสำรวจและศึกษาทางด้านธรณีวิทยา และอื่นๆ ที่จำเป็นตรวจสอบความเหมาะสมของแบบกับสภาพจริงในสนาม หากไม่เหมาะสมให้รายงานสำนักฯเจ้าของงาน
- ตรวจสอบแนว พิกัด ระดับของโครงสร้างที่กำหนดในแบบก่อสร้างและข้อมูลในสนามให้มีความสอดคล้องถูกต้องเหมาะสมและเป็นไปตามแบบรายละเอียด และข้อกำหนด เช่น ระยะความสูงมากที่สุดของ Bridge Approach Structure ที่ก่อสร้างต้องไม่เกินที่ระบุไว้ในแบบ หากสูงเกินจากแบบกำหนดให้รีบรายงานสำนักฯเจ้าของงาน

6.2.1 การดำเนินงานโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure)

6.2.1.1 ฐานรากชนิดเสาตอก (Driving Pile)

การปฏิบัติงานให้ดำเนินการตามวิธีการผลิต การขนส่งและการตอกเสาเข็มตามลักษณะของเสาเข็มที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง ตามรายละเอียดในหัวข้อเสาเข็มตอก (Driving Pile) ดังนี้

<u>การตอกเสาเข็ม</u>

(1) ตรวจสอบขนาด ผังตำแหน่ง ของเสาเข็ม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและลำดับการตอกต้องเหมาะสม

(2) ดำเนินการตอกเสาเข็ม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและข้อกำหนด ลำดับการตอกต้องเหมาะสม

(3) ตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างของเสาเข็มที่จะใช้ตอกก่อนนำไปใช้งาน

(4) ตรวจสอบค่าระดับดินเดิมบริเวณผังเสาเข็ม

(5) ตรวจสอบความแข็งแรงของนั่งร้านปั้นจั่น

(6) ตรวจสอบฐานปั้นจั่นให้อยู่ในแนวระนาบ และรางบังคับลูกตุ้มของปั้นจั่นต้องไม่คดงอ

(7) กรณีตอกเสาเข็มในแนวดิ่งรางบังคับลูกตุ้มของปั้นจั่น ต้องอยู่ในแนวดิ่งทั้ง 2 ทิศทาง

(8) เตรียมพื้นที่สำหรับการกองเสาเข็มเพื่อใช้ประโยชน์ในการชักลากตลอดการยกเสาเข็มขึ้นตั้งเพื่อตอกและต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดความเสียหาย

(9) ทำเครื่องหมายทุกระยะ 0.50 เมตร ตลอดความยาวของเสาเข็ม

(10) ทำหมุดหลักฐานไว้สำหรับตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มทุกต้นอย่างน้อย 2 ทิศทาง

(11) ตรวจสอบแนวแกนเสาเข็มให้ขนานกับรางบังคับลูกตุ้มทั้ง 2 ทิศทาง ทั้งในกรณีตอกเข็มในแนวดิ่ง และตอกเข็มในแนวเอียง

(12) ก่อนตอกเสาเข็ม ให้ตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ไม่มีรอยแตกร้าว

(13) เมื่อเริ่มตอกเสาเข็มให้บันทึก ระยะยกลูกตุ้ม จำนวนครั้งที่ตอก และระยะจมของเสาเข็ม

(14) ขณะเริ่มตอกเสาเข็ม หรือระหว่างการตอกเมื่อพบความคลาดเคลื่อนข้อบกพร่องให้ทำการแก้ไขก่อนดำเนินการตอกเสาเข็มต่อไป ให้ตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มกับหมุดหลักฐานและสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มเป็นระยะ ๆ

(15) เมื่ออัตราการจมของเสาเข็มจากการตอก ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากความสามารถการรับน้ำหนักของเสาเข็มตามแบบ ให้ทำการวัดอัตราการจมเฉลี่ยต่อการตอก 5 ครั้ง จำนวน 3 ค่า หากได้ค่าเฉลี่ยอัตราการจมน้อยกว่าจากการคำนวณให้คำนวณค่าความสามารถการรับน้ำหนักของเสาเข็มจากค่าเฉลี่ยอัตราการจม

(16) ตรวจสอบค่าการคลาดเคลื่อนของหมุดอ้างอิง

(17) รวบรวมข้อมูลของเสาเข็มและบันทึกตามแบบฟอร์ม ก.1 พร้อมบันทึกค่าระดับปลายเสาเข็มในแบบ บ.4.2 ของกรมทางหลวง

(18) เนื่องจากเสาเข็มของฐานราก Bridge Approach Structure มีลักษณะเป็นกลุ่มเรียงเป็นระเบียบ เป็นลำดับการตอกเสาเข็ม ในลักษณะกลุ่มเสาเข็มบริเวณดินอ่อนให้กำหนดแผนลำดับการตอกเสาเข็ม โดยมีลำดับการตอกที่มีทิศทางออกไปจากกลุ่มเสาเข็มที่ได้ตอกเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้ รวมถึงกลุ่มเสาเข็มของตอม่อที่อยู่ประชิดใกล้เคียงที่ตอกเสร็จแล้วด้วย เพื่อให้แรงดันสะสมที่เกิดจากมวลดินใต้ดินที่ถูกแทนที่โดยกลุ่มเสาเข็มมีทิศทางของแรงออกจากกลุ่มเสาเข็มที่ตอกแล้ว ไม่ให้กระทำต่อเสาเข็มที่ตอกเสร็จแล้วเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งหรือหนีศูนย์

6.2.1.2 ฐานรากชนิดเสาเข็มเจาะ (Bored Pile)

ให้ใช้ในกรณีที่กำหนดไว้ในแบบหรือไม่สามารถใช้ฐานรากชนิดเสาตอกได้ ทั้งนี้ โดยต้องใส่เหล็กเสริมอย่างน้อย 1 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่หน้าตัดยาวตลอดความยาวของเสาเข็ม และต้องเสนอรูปแบบและรายการคำนวณให้สำนักสำรวจและออกแบบเห็นชอบเป็นลายลักษณ์อักษร

6.2.1.2.1 เสาเข็มเจาะระบบเจาะเปียก (Wet Process) จะใช้กับสภาพดินที่มีชั้นทรายหรือมีน้ำใต้ดิน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเพิ่มแรงดันในหลุมเจาะ เพื่อป้องกันมิให้ผนังหลุมเจาะพังเช่น สารละลายเบนโทไนท์ (Bentonite) เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนปฏิบัติควบคุมดังนี้

<u>ก่อนเจาะ</u>

(1) ตรวจสอบศูนย์กลางของตำแหน่งเสาเข็มและขนาดให้ได้ตามแบบ

(2) ตรวจสอบความมั่นคงของจุดยืน ของเครื่องเจาะ และทางที่รถลำเรียงดินออก

(3) ตรวจสอบระยะห่างของหลุมที่จะเจาะใหม่กับหลุมของเสาเข็มที่เทคอนกรีตเสร็จใหม่

<u>การเจาะ</u>

(1) ตรวจสอบแนวดิ่งของเครื่องเจาะตลอดเวลา

(2) ตรวจสอบคุณภาพของ Drilling liquid และเติม Drilling liquid ในหลุมเจาะเมื่อระดับลดลง

(3) ตรวจสอบและวัดความลึกของชั้นดินที่เปลี่ยนไปของหลุมเจาะ (Drill Hole Monitoring) ระหว่างขุดเจาะ

(4) สังเกตการพังทลายดินข้างผนังหลุมเจาะพัง และอย่านำดินที่ขุดขึ้นมากองไว้ข้างหลุม

(5) วัดระดับก้นหลุมเจาะ ความลาดเอียง และสภาพของหลุมเจาะ เมื่อความลึกที่วัดได้ของหลุมเจาะได้ตามต้องการ รวมทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะ

(6) ให้รีบดำเนินการเทคอนกรีตโดยเร็ว อย่าทิ้งหลุมเจาะไว้นาน

<u>การเทคอนกรีต</u>

(1) ตรวจความสะอาดของหลุมเจาะอีกครั้ง

(2) ตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริม และลูกปูน ก่อนนำลงในหลุมเจาะให้เป็นไปตามแบบ

(3) ตรวจข้อต่อของท่อส่งคอนกรีตอย่าให้น้ำซึมได้ พร้อมทั้งตรวจสอบความยาว

(4) ตรวจสอบตำแหน่งและปลายท่อส่งคอนกรีต ให้ห่างจากก้นหลุมเจาะไม่เกิน 20-30 ซม.เพื่อป้องกันคอนกรีตแยกตัว และดันตะกอนที่ก้นหลุมขึ้นมาได้

(5) ตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(6) ตรวจสอบระดับของคอนกรีตที่เทได้ในหลุมเจาะแต่ละครั้ง เปรียบเทียบกับปริมาณตามแบบ และจดบันทึก

(7) ตรวจสอบระยะฝังในคอนกรีตของท่อส่งคอนกรีต ควรจมอยู่ในคอนกรีต 2.00 เมตร

(8) ตรวจสอบระยะเผื่อของระดับคอนกรีตหัวเสาเข็ม

6.2.1.2.2 เสาเข็มเจาะระบบเจาะแห้ง (Dry Process) ในสภาพดินบางแห่งเมื่อเจาะแล้วไม่พบน้ำใต้ดิน หรือเป็นชั้นทรายอัดตัวแน่นไม่เกิดการพังทลายของผนังหลุมเจาะ ไม่จำเป็นต้องใช้ของเหลวป้องกันผนังหลุมเจาะ มีขั้นตอนปฏิบัติควบคุมดังนี้

<u>ก่อนเจาะ</u>

(1) ตรวจสอบศูนย์กลางของตำแหน่งเสาเข็มและขนาดให้ได้ตามแบบ

(2) ตรวจสอบความมั่นคงของจุดยืนของเครื่องเจาะ และทางที่รถลำเลียงดินออก

(3) ตรวจสอบระยะห่างของหลุมที่จะเจาะใหม่กับหลุมของเสาเข็มที่เทคอนกรีตเสร็จใหม่

(4) ตรวจสอบสภาพและรอยต่อของปลอกเหล็กในกรณีที่ช่วงแรกของการขุดเจาะซึ่งส่วน มากเป็นดินอ่อนจึงมักจะใส่ปลอกเหล็ก (Steel Casing) เพื่อป้องกันดินส่วนบนพังและ ใช้หัวขุดเจาะแบบสว่าน (Auger Type)

<u>การเจาะ</u>

(1) ตรวจสอบแนวดิ่งของปลอกเหล็กตลอดเวลาขณะตอก

(2) ตรวจสอบ และวัดความลึกของชั้นดินที่เปลี่ยนไปของหลุมเจาะระหว่างการขุดเจาะ

(3) สังเกตว่ามีดินข้างหลุมพังหรือไม่ และอย่านำดินที่ขุดขึ้นมากองไว้ข้างหลุม

(4) ตรวจสอบก้นหลุมและทำให้หลุมเจาะแห้ง (ถ้าหากก้นหลุมมีน้ำใต้ดินซึมเข้าในหลุม) โดยทั่วไปจะใส่ปูนซีเมนต์ผงลงไปซับน้ำให้ก้นหลุมแห้ง

(5) วัดระดับก้นหลุมเจาะความลาดเอียงและสภาพของหลุมเจาะ เมื่อความลึกของหลุมเจาะได้ตามต้องการ

(6) ให้รีบดำเนินการเทคอนกรีตโดยเร็ว อย่าทิ้งหลุมเจาะไว้นาน

<u>การเทคอนกรีต</u>

(1) ตรวจสอบความสะอาดก้นหลุมเจาะอีกครั้ง

(2) ตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริมในหลุมเจาะให้เป็นไปตามแบบ

(3) ตรวจสอบตำแหน่งและปลายท่อส่งคอนกรีต อย่าให้ห่างจากก้นหลุมเจาะหรือระดับของคอนกรีตในหลุมเจาะมากนักเพื่อป้องกันคอนกรีตแยกตัว

(4) ตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(5) ตรวจสอบระดับของคอนกรีต ที่เทได้ในหลุมเจาะแต่ละครั้งเปรียบเทียบกับปริมาณตามแบบ

(6) ตรวจสอบระยะเผื่อของระดับคอนกรีตหัวเข็ม

(7) ดึงปลอกเหล็กออกก่อนคอนกรีตก่อตัวด้วยหัวจับยึดแบบสั่น และต้องระวังมิให้ปลอกเหล็กเกี่ยวเหล็กเสริมขึ้นมาด้วย

6.2.1.3 คานคอดิน (Ground Beam) และ แท่นหัวเข็ม (Pile Cap)

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

<u>การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต</u>

(1) ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กระบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(2) ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด

(3) ตรวจสอบขนาดคละ(Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ(Abrasion) และความสะอาดของ หิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(4) ตรวจแบบหล่อให้ได้ ขนาด ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน

(5) น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้

(6) ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง

(7) ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนดและหลักวิชา

(8) ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน

(9) ตรวจสอบ ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง(Bar Chair) รองรับให้แข็งแรงไม่ทรุด

(10) ตรวจสอบ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆ ให้ครบถ้วนตามแบบ

(11) จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม

(12) ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม

(13) ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

<u>งานเทคอนกรีต</u>

(1) การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง

(2) ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) ตามข้อกำหนด

(3) ควบคุมที่โรงงานผสมคอนกรีต ตรวจสอบเวลาในการผสม (Mixing Time) ให้เหมาะสม

(4) ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว

(5) ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท

(6) ตรวจสอบความข้นเหลว(Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด

(7) ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)

(8) ขณะเทคอนกรีต ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด โดยเขียนรายละเอียดต่างๆลงในเนื้อคอนกรีต

(9) ก่อนเทคอนกรีตใหม่ เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตใหม่

(10) ขณะที่เทคอนกรีต ต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม

(11) แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด

(12) เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง

งานหลังเทคอนกรีต

(1) ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
   - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
   - แบบประกอบรองรับท้องคาน พื้น 14 วัน
   - กรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของตัวอย่างแท่งคอนกรีตของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน

(2) ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(3) เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที

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

6.2.1.4 เสา (Column)

ให้ดำเนินการตรวจสอบตำแหน่งระยะระหว่างเสาและแนวดิ่งของเสาทุกต้น ให้ถูกต้องตามแบบก่อนและดำเนินขั้นตอนควบคุมตรวจสอบงานต่อไปดังนี้

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

(1) ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กระบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(2) ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด

(3) ตรวจสอบขนาดคละ(Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ(Abrasion) และความสะอาดของ หิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(4) ตรวจแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน

(5) น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้

(6) ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง

(7) ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนดและหลักวิชา

(8) ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน

(9) ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ

(10) ตรวจ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ

(11) จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม

(12) ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม

(13) ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

<u>งานเทคอนกรีต</u>

(1) การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง

(2) ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) ตามข้อกำหนด

(3) ควบคุมที่โรงงานผสมคอนกรีต ตรวจสอบเวลาในการผสม (Mixing Time) ให้เหมาะสม

(4) ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว

(5) ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท

(6) ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด

(7) ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)

(8) ขณะเทคอนกรีต ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด โดยเขียนรายละเอียดต่างๆลงในเนื้อคอนกรีต

(9) ก่อนเทคอนกรีตใหม่ เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตใหม่

(10) ขณะที่เทคอนกรีต ต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม

(11) แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด

(12) เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง

<u>งานหลังเทคอนกรีต</u>

(1) ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
- แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
- กรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของตัวอย่างแท่งคอนกรีตของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน

(2) ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(3) เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที

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

6.2.1.5 กำแพง (Wall)

ให้ดำเนินการตรวจสอบ แนว ระดับ ความสูง ความหนา และความยาวของกำแพงให้ถูกต้องตามแบบก่อน การก่อสร้างในส่วนของเหล็กยืนของกำแพง จะต้องดำเนินการพร้อมๆกับการก่อสร้างคานคอดิน และแท่นหัวเข็มที่รองรับกำแพง ตามแนวยาวของกำแพงแล้วจึงดำเนินขั้นตอนควบคุมตรวจสอบงานต่อไปดังนี้

<u>การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต</u>

(1) ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กระบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump

ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(2) ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด

(3) ตรวจสอบขนาดคละ(Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ(Abrasion) และความสะอาดของ หิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(4) ตรวจแบบหล่อให้ได้ แนว ดิ่ง ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน

(5) น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้

(6) ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง

(7) ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนดและหลักวิชา

(8) ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน

(9) ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ

(10) ตรวจ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ

(11) จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม

(12) ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม

(13) ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

<u>งานเทคอนกรีต</u>

(1) การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง

(2) ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) ตามข้อกำหนด

(3) ควบคุมที่โรงงานผสมคอนกรีต ตรวจสอบเวลาในการผสม (Mixing Time) ให้เหมาะสม

(4) ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว

(5) ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท

(6) ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด

(7) ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)

(8) ขณะเทคอนกรีต ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด โดยเขียนรายละเอียดต่างๆลงในเนื้อคอนกรีต

(9) ก่อนเทคอนกรีตใหม่ เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตใหม่

(10) ขณะที่เทคอนกรีต ต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม

(11) แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด

(12) เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง

<u>งานหลังเทคอนกรีต</u>

(1) ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
- แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
- กรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของตัวอย่างแท่งคอนกรีตของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน

(2) ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(3) เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที

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

6.2.1.6 คานบน (Upper Beam)

ให้ดำเนินการตรวจสอบขนาดและระดับของคานบนรวมทั้งแนวและตำแหน่งที่ก่อสร้างเพื่อรองรับน้ำหนักจากพื้น ให้ถูกต้องตามแบบก่อน และดำเนินขั้นตอนควบคุมตรวจสอบงานต่อไปดังนี้

<u>การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต</u>

(1) ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กระบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(2) ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด

(3) ตรวจสอบขนาดคละ(Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ(Abrasion) และความสะอาดของ หิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(4) ตรวจแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน

(5) น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้

(6) ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง

(7) ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนดและหลักวิชา

(8) ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน

(9) ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ

(10) ตรวจ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ

(11) จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม

(12) ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม

(13) ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

งานเทคอนกรีต

(1) การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง

(2) ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) ตามข้อกำหนด

(3) ควบคุมที่โรงงานผสมคอนกรีต ตรวจสอบเวลาในการผสม(Mixing Time) ให้เหมาะสม

(4) ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว

(5) ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท

(6) ตรวจสอบความข้นเหลว(Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด

(7) ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)

(8) ขณะเทคอนกรีต ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด โดยเขียนรายละเอียดลงในเนื้อคอนกรีต

(9) ก่อนเทคอนกรีตใหม่ เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตใหม่

(10) ขณะที่เทคอนกรีต ต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม

(11) แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด

(12) เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง

งานหลังเทคอนกรีต

(1) ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
- แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
- แบบประกอบรองรับท้องคาน พื้น 14 วัน
- กรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของตัวอย่างแท่งคอนกรีตของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน

(2) ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(3) เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที

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

6.2.2 การดำเนินงานโครงสร้างส่วนบน (Superstructure)

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

6.2.2.1 พื้น (Slab)

ให้ดำเนินการตรวจสอบควบคุมงานตามขั้นตอนการเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต งานเทคอนกรีต งานหลังเทคอนกรีต โดยเน้นในเรื่องการตรวจสอบแนว ระดับ ระบบระบายน้ำ นั่งร้านและค้ำยันให้ถูกต้อง และมีความแข็งแรงก่อนการเทเสมอ เมื่อเทคอนกรีตแล้วเสร็จต้องทำการตกแต่งผิวหน้าให้เรียบร้อย สวยงาม ตามแบบกำหนด และทำการบ่มคอนกรีตทันที

6.2.2.2 ขอบทาง เสาและราว

ให้ดำเนินการตรวจสอบควบคุมงานตามขั้นตอน เหมือนหัวข้อขอบทางและราวสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

6.2.2.3 รอยต่อ (Joint)

6.2.2.3.1 ตรวจสอบชนิดของรอยต่อที่ใช้ให้เป็นไปตามที่ระบุในแบบหรือรายการ

6.2.2.3.2 ตรวจสอบการติดตั้ง ตำแหน่ง ระดับ รวมไปถึงวิธีการติดตั้งให้เป็นไปตามแบบ

6.2.2.3.3 ตรวจสอบวัสดุที่ใช้อุดรอยต่อต้องได้คุณสมบัติตามข้อกำหนดตรวจสอบแบบรอยต่อ ระยะความกว้าง และความลึกตามที่ระบุ

6.3 ปัญหาและวิธีการแก้ไข

6.3.1 ปัญหา: ระดับและความสูงของ Bridge Approach Structure ที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง เมื่อตรวจสอบข้อมูลสำรวจจากสภาพจริงหน้างานแล้วพบว่ามีค่ามากเกินไปไม่สอดคล้องหรือเหมาะสมกับสภาพจริงหน้างาน

แนวทางป้องกันและแก้ไข: ก่อนที่จะเริ่มเข้าทำการก่อสร้างสะพาน จะต้องเร่งสำรวจและตรวจสอบค่าระดับและพิกัดตำแหน่ง ที่จำเป็นจากสภาพหน้างานจริง เช่น ค่าระดับของถนนที่สะพานพาดข้ามทั้งหมด ค่าระดับของดินเดิมและถนนข้างเคียง ค่าระดับน้ำสูงสุด และตรวจความสูง

ของช่องลอดก่อนการก่อสร้าง อาจต้องทำการปรับค่าระดับจากที่แบบกำหนด หากมีค่าต่ำกว่าค่าความสูงมาตรฐานที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ของกรมทางหลวง และอาจเผื่อการยกระดับขึ้นเล็กน้อยสำหรับการยกระดับ และการปรับปรุงถนนใต้จุดลอดนั้นๆ ในอนาคต นอกเหนือจากนั้นต้องตรวจสอบความสูงที่จะต้องก่อสร้างจริงของกำแพงส่วนที่สูงที่สุดตรง Abutment ที่รองรับคานไม่ให้เกินค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ในแบบ หากค่าระดับดินเดิมและถนนเดิมในแบบมีความผิดพลาดมากอาจทำให้ระดับ Bridge Approach Structure มีระดับจมดินเดิมหรือสูงเกินไปและมีผลต่อการจะต้องทำการปรับแก้ไขรูปตัดแนวดิ่ง (Profile) ของสะพานและตำแหน่งตอม่อ ใหม่

6.3.2 ปัญหา: พื้น Topping Slab หลังจากเทแล้วไม่ราบเรียบหลังเปิดใช้งาน หรือเกิดการทรุดตัวหรือแอ่นลงของระบบค้ำยันและนั่งร้านขณะเทหรือเทคอนกรีตเสร็จใหม่

แนวทางการป้องกันแก้ไข : สาเหตุเกิดจากความบกพร่องและขาดความมั่นคงแข็งแรงของอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

(1) ขาค้ำยันยืนอยู่บนดินที่ไม่มีแผ่นกระจายแรง (เช่น แผ่นเหล็ก แผ่น Sheet Pile) หรือแผ่นคอนกรีตรองรับบนพื้นดินสามารถรับแรงและถ่ายกระจายน้ำหนักลงสู่พื้นดินเดิมได้อย่างเพียงพอ อาจตอกเสาเข็มสั้นเป็นกลุ่มช่วยเสริมในการรับน้ำหนัก

(2) ระยะห่างของค้ำยันและตรงรับพื้นมีระยะห่างมากเกินไป หรือขาดการโยงยึด Bracing ตามยาวและขวางอย่างเพียงพอ

(3) วัสดุที่นำมาประกอบเป็นค้ำยันและนั่งร้านผ่านการใช้งานมานานจนเสื่อมสภาพหรือเป็นวัสดุที่ไม่มีความแข็งแรงพอ เช่น นำไม้เนื้ออ่อนมาใช้เป็นตงรับพื้นกระดานหรือใช้แผ่นวัสดุที่มีบางเกินไปหรือ มีขนาดเล็กเกินไป

6.3.3 ปัญหา: ภายหลังการก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วไม่บรรลุวัตถุประสงค์ ของผู้ออกแบบที่กำหนดไว้เนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น มีน้ำท่วมขังที่ระดับพื้นภายในอาคาร และระดับภายนอกโครงสร้างมีระดับสูงขึ้นจากดินถม

แนวทางป้องกันแก้ไข: ก่อนดำเนินการก่อสร้างจะต้อง ทำการตรวจสอบค่าระดับสภาพหน้างานจริง เช่น ระดับดินเดิม ระดับถนนเดิมและความสูงของช่องลอดที่สามารถก่อสร้างได้จริงหน้างานรวมถึงระดับน้ำสูงสุดหากแบบที่จะก่อสร้างมีรายละเอียดข้อมูลต่างๆ ที่ไม่ตรงหรือคลาดเคลื่อนจากค่าสำรวจจริงจากหน้างานเช่นค่าระดับดินเดิม ระดับถนนเดิมพิกัดและระดับโครงสร้างเดิมที่จะต้องเชื่อมต่อ หรือไม่ได้แสดงข้อมูลไว้ ให้เร่งแจ้งสำนักฯเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขแบบด่วนเพื่อให้เส้นแนวระดับ (Profile) มีความเหมาะสม สามารถนำมาใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบ โดยปกติภายในอาคาร Bridge Approach จะกำหนดให้มีดินถมเต็มถึงระดับหลังคานคอดินเพื่อไม่ให้ระดับน้ำท่วมขังภายใน

บทที่ 7 Bearing Unit

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

7.1 การตอกเสาเข็มฐานราก

7.1.1 ตรวจสอบแนวศูนย์กลาง ระยะ กว้างยาว ที่จะก่อสร้างให้เป็นไปตามแบบ

7.1.2 ตรวจสอบแผนลำดับการตอกเสาเข็มให้มีความเหมาะสม เนื่องจากเสาเข็มของ Bearing Unit มีลักษณะเป็นกลุ่มเรียงเป็นระเบียบ โดยเฉพาะบริเวณดินอ่อน ลำดับการตอกให้มีทิศทางออกไปจากกลุ่มเสาเข็มที่ได้ตอกเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้รวมถึงกลุ่มเสาเข็มของตอม่อที่อยู่ประชิดใกล้เคียงที่ตอกเสร็จแล้วด้วย เพื่อให้แรงดันสะสมที่เกิดจากมวลดินใต้ดินที่ถูกแทนที่โดยกลุ่มเสาเข็ม มีทิศทางของแรงออกจากกลุ่มเสาเข็มที่ตอกแล้ว ไม่ให้กระทำต่อเสาเข็มที่ตอกแล้วเป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหรือการหนีศูนย์ของเสาเข็ม

7.1.3 ตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างของเสาเข็มที่จะใช้ตอก

7.1.4 ตรวจสอบค่าระดับดินเดิมบริเวณผังเสาเข็ม

7.1.5 ตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของหมุดหลักฐานและหมุดอ้างอิง

7.1.6 ตรวจสอบขนาดเสาเข็ม และจำนวนต้นที่จะตอกให้ครบในแต่ละตับ

7.1.7 ตรวจสอบตำแหน่งของเสาเข็มตามที่กำหนดในแบบไม่ให้คลาดเคลื่อน หากคลาดเคลื่อนจากแบบให้ปรึกษาผู้ออกแบบทันที

7.1.8 ควบคุมความยาวของเสาเข็มที่จะมาตอกในแต่ละตับให้ถูกต้องตรงตามแบบ

7.1.9 ตรวจสอบความแข็งแรงของนั่งร้านปั้นจั่น

7.1.10 ตรวจสอบฐานปั้นจั่นให้อยู่ในแนวระนาบและรางบังคับลูกตุ้มของปั้นจั่นต้องไม่คดงอ

7.1.11 กรณีตอกเสาเข็มในแนวดิ่ง รางบังคับลูกตุ้มของปั้นจั่นต้องอยู่ในแนวดิ่งทั้ง 2 ทิศทาง

7.1.12 ตรวจสอบแนวแกนเสาเข็มให้ขนานกับรางบังคับลูกตุ้มทั้ง 2 ทิศทาง

7.1.13 ขณะเริ่มตอกเสาเข็ม และระหว่างการตอก ให้ทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อน หรือข้อบกพร่อง ก่อนดำเนินการตอกเสาเข็มต่อไป ให้ตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มกับหมุดหลักฐานและสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มเป็นระยะอย่างต่อเนื่อง

7.1.14 ตรวจสอบระดับหัวเสาเข็มหลังตอกเสร็จให้พอดีระดับที่จะเข้าแบบพื้น

7.1.15 ตรวจสอบการรวบรวมข้อมูลของเสาเข็มและการบันทึกตามแบบฟอร์ม ก.1 พร้อมการบันทึกค่าระดับปลายเสาเข็มในแบบ บ.4.2 ของกรมทางหลวง

7.2 การดำเนินงานก่อสร้างพื้น

7.2.1 ตรวจสอบระดับล่างของพื้น ความลึกของหลุมบริเวณหัวเสาเข็ม พร้อมปรับทรายหยาบรองพื้น

7.2.2 ตรวจสอบระดับบนของพื้นให้ถูกต้องก่อนเทคอนกรีตอีกครั้ง เพื่อให้ความหนาได้ตามแบบ

7.2.3 ตรวจสอบเหล็กเสริม ขนาด และระยะห่าง รวมถึงระยะหุ้ม (Covering)

7.2.4 ตรวจสอบแบบตำแหน่ง และความแข็งแรง

7.2.5 ควบคุมงานเทคอนกรีต

7.3 การดำเนินงานก่อสร้างกำแพงกันดินบริเวณตอม่อริมของสะพาน

7.3.1 ตรวจสอบแบบและระดับ

7.3.2 ควบคุมงานเทคอนกรีต

7.4 การดำเนินงานก่อสร้างกำแพง

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

7.4.1 ก่อนการเทคอนกรีต

7.4.1.1 ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กระบะตวง หรือเครื่องชั่ง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จจากโรงผสมต้องทำการ Calibrate ให้ถูกต้อง ถ้าในกรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้จะต้องทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนด

7.4.1.2 ตรวจสอบชนิดของปูนซีเมนต์ที่ใช้ให้ถูกต้องตามข้อกำหนด

7.4.1.3 ตรวจสอบคุณสมบัติของส่วนผสม คือ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด

7.4.1.4 ควบคุมขนาดคละ (Gradation) และความสะอาดของหิน หรือกรวด ทราย ให้เป็นไปข้อกำหนด

7.4.1.5 ตรวจสอบตำแหน่งของแบบหล่อให้ได้ดิ่ง หรือเอียงฉากตามที่กำหนดไว้ในแบบกำหนดตำแหน่งและระดับที่จะหยุดเทคอนกรีตให้เหมาะสม

7.4.1.6 ตรวจผิวของแบบหล่อให้เป็นไปตามความประสงค์ของแบบ

7.4.1.7 ตรวจสอบความแข็งแรงของค้ำยัน กรณีที่ใช้ Form Tie ต้องขันน็อตให้แน่นทุกตัว และมีจำนวนเพียงพอ

7.4.1.8 น้ำมันทาไม้แบบหรือเหล็กต้องได้รับความเห็นชอบก่อนใช้งาน

7.4.1.9 ตรวจแบบหล่อไม่ให้มีรอยรั่ว

7.4.1.10 ราดน้ำไม้แบบก่อนเทเพื่อป้องกันไม้แบบดูดน้ำจากส่วนผสมคอนกรีต

7.4.1.11 ตรวจสภาพของแบบหล่อให้เหมาะสมในการใช้งาน

7.4.1.12 ตรวจชนิด ขนาด จำนวน และระยะห่างเหล็กเสริมให้ถูกต้อง

7.4.1.13 เหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาดไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ติดอยู่ให้ทำความสะอาดก่อน

7.4.1.14 ตรวจ Covering ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ

7.4.1.15 ตรวจตำแหน่งการต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนดและหลักวิชาการ

7.4.1.16 ตรวจอุปกรณ์ที่ต้องฝังและช่องเจาะต่างๆ ให้มีครบถ้วนตามแบบ เช่น บัวลบเหลี่ยม เหล็ก Dowel ท่อร้อยสายไฟ เป็นต้น

7.4.1.17 จัดเตรียมเครื่องมือ เช่น เครื่องผสมคอนกรีต เครื่องเขย่าคอนกรีต ให้พอเพียง และต้องมีสำรอง

7.4.1.18 ตรวจจำนวนคนงานและช่างให้เพียงพอกับลักษณะงาน

7.4.1.19 ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม

7.4.1.20 ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

7.4.1.21 ก่อนเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานทุกครั้ง

7.4.2 งานเทคอนกรีต

7.4.2.1 ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) หรือข้อกำหนด

7.4.2.2 ควบคุมโรงงานที่ผสมคอนกรีต พร้อมทั้งตรวจสอบเวลาในการผสม (Mixing Time) ต้องไม่น้อยกว่า 2 นาที

7.4.2.3 ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 30 นาที มาใช้ หากขนส่งโดยรถขนส่งคอนกรีตต้องไม่เกินกว่า 45 นาที ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว

7.4.2.4 ตรวจสอบการขนส่งคอนกรีตจากรถขนส่ง ไปยังจุดที่จะเทโดยไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีใช้เครื่อง Concrete Pump ต้องตรวจสอบอัตราส่วนผสม (Mixed Design) ให้เหมาะสม

7.4.2.5 ควบคุมระยะปล่อยคอนกรีตไม่สูงกว่า 2.00 เมตร การเทต้องถูกต้องตามวิธีมาตรฐานเพื่อป้องกันการแยกตัว เช่น ใช้ท่อหรือรางช่วยในการเท

7.4.2.6 ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด

7.4.2.7 ตรวจสอบควบคุมให้มีการจี้คอนกรีต (ทำให้คอนกรีตแน่น) ที่ถูกวิธีตามมาตรฐานและไม่ควรจี้ถูกเหล็กเสริมและไม้แบบ

7.4.2.8 ห้ามจี้คอนกรีตที่ก่อตัวแล้ว

7.4.2.9 ขณะเทคอนกรีตให้เก็บตัวอย่างเพื่อการตรวจสอบกำลังอัด

7.4.2.10 แต่งผิวหน้าคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบหรือข้อกำหนด

7.4.2.11 ก่อนเทคอนกรีตใหม่เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้งให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาด และราดน้ำชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสาน แล้วเทคอนกรีตใหม่ทันที

7.4.2.12 ขณะที่เทคอนกรีตต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม

7.4.2.13 ควบคุมปริมาณที่เท เมื่อขณะใกล้เสร็จงานให้พอดีตามระดับที่ต้องการ

7.4.2.14 เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที

7.4.3 งานหลังเทคอนกรีต

7.4.3.1 การบ่มคอนกรีตให้ดำเนินการตามรายการละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง

7.4.3.2 การถอดแบบอนุญาตให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตครบอายุ 2 วัน

7.4.3.3 ตรวจสอบผลการทดลองกำลังของคอนกรีตที่เทแล้วให้เป็นไปตามข้อกำหนด

7.4.3.4 เมื่อถอดแบบหากพบว่ามีความบกพร่องของเนื้อคอนกรีตให้ผู้รับจ้างเสนอ วิธีการแก้ไขต่อนายช่างควบคุมงานโดยทันที

7.4.3.5 วัสดุที่ใช้สำหรับทำรอยต่อและการติดตั้งต้องควบคุมให้ได้ตามมาตรฐานข้อกำหนดเสมอ

บทที่ 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)

8.1 ก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้าง

8.1.1 ผู้รับจ้างต้องเสนอแบบรายละเอียดสำหรับก่อสร้าง (Shop Drawings) รายการคำนวณ (Calculation Sheets) ผู้ผลิตหรือผู้แทนจำหน่าย (Supplier) และข้อกำหนด (Specification) ให้ทางโครงการตรวจสอบเพื่อเสนอขอความเห็นชอบจากสำนักสำรวจและออกแบบ หรือเป็นไปตามที่แบบกำหนด

8.1.2 ตรวจสอบ ให้ฐานของกำแพงฝังอยู่ในดินเดิมไม่น้อยกว่า 10% ของความสูงกำแพง ในกรณีที่ดินเดิมในสนามมีค่าระดับที่แตกต่างกันมาก ต้องกำหนดค่าระดับที่ฐานในลักษณะขั้นบันได ส่วนแผ่นผนังคอนกรีตด้านบนสุดทุกแผ่นต้องเป็นไปตาม Profile Grade

8.1.3 ตรวจสอบการกำหนดเหล็กเสริมยึดแผ่นผนังคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด

8.1.4 ตรวจสอบการกำหนดเหล็กเสริมยึดแผ่นผนังคอนกรีต ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด

8.1.5 ตรวจสอบงานก่อสร้างอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Abutment งานเดินสายไฟของเสาไฟฟ้าแสงสว่าง งานระบบระบายน้ำ งาน Approach Slab งาน Concrete Barrier งานโครงสร้างชั้นทางบนกำแพงกันดิน เป็นต้น เพื่อกำหนดขั้นตอนการทำงานให้มีความสอดคล้องกัน

8.1.6 ตรวจสอบแบบหล่อคอนกรีต อุปกรณ์ และเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง

8.1.7 จัดส่งตัวอย่างของวัสดุที่ต้องทำการทดสอบ ก่อนนำมาใช้งาน

8.1.8 ตรวจสอบความสามารถการรับน้ำหนักของดินเดิม (Bearing Capacity) ที่รองรับแผ่นผนังคอนกรีต ตามแบบกำหนด

8.2 งานหล่อแผ่นผนังคอนกรีตกำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน

8.2.1 การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

8.2.1.1 ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กะบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

8.2.1.2 ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด

8.2.1.3 ตรวจสอบขนาดคละ(Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ(Abrasion) และความสะอาดของ หิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

8.2.1.4 ตรวจแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน

8.2.1.5 น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้

8.2.1.6 ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง

8.2.1.7 ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบและหลักวิชา

8.2.1.8 ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน

8.2.1.9 ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง(Bar Chair) รองรับให้แข็งแรง ไม่ทรุด

8.2.1.10 ตรวจ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ

8.2.1.11 ตรวจสอบรูปแบบแผ่นผนังคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด ซึ่งอาจเป็นแผ่นเต็ม หรือแผ่นไม่เต็ม ที่รหัสแตกต่างกัน

8.2.1.12 ตรวจสอบตำแหน่งหูยกแผ่นผนังคอนกรีต ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด

8.2.1.13 จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม

8.2.1.14 ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม

8.2.1.15 ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

8.2.2 งานเทคอนกรีต

8.2.2.1 การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง

8.2.2.2 ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วน (Mixed Design) หรือข้อกำหนด

8.2.2.3 ควบคุมที่โรงงานผสมคอนกรีต ตรวจสอบเวลาในการผสม (Mixing Time) ให้เหมาะสม

8.2.2.4 ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว

8.2.2.5 ควบคุมการขนส่งคอนกรีตและการเทคอนกรีต ไม่ให้เกิดการแยกตัว กรณีระยะปล่อยคอนกรีตสูงกว่า 2.00 เมตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเท

8.2.2.6 ตรวจสอบความข้นเหลว(Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด

8.2.2.7 ตรวจสอบการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) อย่างถูกวิธี และต้องทำให้คอนกรีตแน่นตัว ก่อนการก่อตัว (Initial Setting Time)

8.2.2.8 ตรวจสอบแบบหล่อขณะเทคอนกรีต หากมีความผิดปกติเกิดขึ้น ต้องแก้ไขในทันที

8.2.2.9 ควบคุมการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัด

8.2.2.10 ตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม

8.2.2.11 แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด

8.2.2.12 เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที

8.2.3 งานหลังเทคอนกรีต

8.2.3.1 ควบคุมการถอดแบบ และการขนย้ายแผ่นผนังคอนกรีตออกจากแบบหล่อ มิให้เกิดความเสียหายเมื่อนำแผ่นผนังคอนกรีตไปติดตั้ง ความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน

8.2.3.2 เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที

8.2.3.3 ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด

8.2.3.4 ควบคุมให้มีการบ่มคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง

8.3 งานติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตกำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน

8.3.1 ตรวจสอบแนวดิ่งของผนัง Abutment หากมีความคลาดเคลื่อน ให้ทำการแก้ไข

8.3.2 ตรวจสอบแนว ระดับ ของฐานวางแผ่นผนังคอนกรีต ให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง

8.3.3 ควบคุมการก่อสร้างฐานวางแผ่นผนังคอนกรีต ตามขั้นตอนการเตรียมงานเทคอนกรีต และงานเทคอนกรีต

8.3.4 ตรวจสอบแนวขอบด้านนอก และกำหนดตำแหน่งของแผ่นผนังคอนกรีต เพื่อเตรียมติดตั้งให้เป็นไปตามแบบก่อสร้าง

8.3.5 ควบคุมลำดับการติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตในสนาม ให้ตรงกับตำแหน่ง ตามหมายเลขประจำแผ่นที่กำหนด

8.3.6 ตรวจสอบรายละเอียดต่างๆของแผ่นผนังคอนกรีตอีกครั้ง หากพบความเสียหายให้แก้ไข

8.3.7 ตรวจสอบการวางแผ่นผนังคอนกรีต ที่ติดตั้งแล้วเสร็จ ต้องอยู่ในแนวดิ่ง รอยต่อระหว่างแผ่นผนังคอนกรีตแต่ละชั้นต้องอยู่ในระดับเดียวกัน ช่องว่างระหว่างแผ่นต้องชิด และระยะห่างโดยรอบสม่ำเสมอ มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 มม.

8.3.8 ตรวจสอบการติดตั้งแผ่นรองรอยต่อ (Joint Pad) ระหว่างแผ่นผนังคอนกรีตในแนวระนาบราบ ให้มีจำนวนอย่างน้อย 2 แผ่น

8.3.9 ตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของอุปกรณ์การยึดและค้ำยันแผ่นผนังคอนกรีต ในขณะติดตั้ง

8.3.10 ตรวจสอบการติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) บริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นผนังคอนกรีตและบริเวณด้านข้าง Abutment ให้ยึดติดแน่นกับแผ่นผนังคอนกรีต

8.3.11 ตรวจสอบวัสดุดินถม เครื่องมือ เครื่องจักร และวิธีการบดอัด ให้ได้ความแน่นตามข้อกำหนด การบดอัดให้ดำเนินการตามรายละเอียดและข้อกำหนดของการก่อสร้างทางหลวง โดยทำการบดอัดดินแต่ละชั้น จนถึงระดับที่ต้องติดตั้งสมอยึด (Anchor)

8.3.12 ตรวจสอบจำนวน ความยาวของสมอยึด (Anchor) การใส่สลักยึดต่อกับแผ่นผนังคอนกรีต ให้เป็นไปตามที่กำหนดในแบบ

8.3.13 ตรวจสอบการก่อสร้างโครงสร้างส่วนบน ให้เป็นไปตามแบบ

บทที่ 9 งานเบ็ดเตล็ด (Miscellaneous)

9.1 งานเบ็ดเตล็ดในการก่อสร้างสะพาน

ตรวจสอบรายละเอียดประกอบแบบก่อสร้างของงานแต่ละรายการจากแบบก่อสร้าง และควบคุมให้ผู้รับจ้างดำเนินการให้เป็นไปตามข้อกำหนด

9.2 การตกแต่งรื้อถอน

ภายหลังจากที่ได้ดำเนินการก่อสร้างโครงสร้างส่วนต่างๆ เช่น เสา พื้น ราวสะพาน แล้วเสร็จ ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวนั้นมองเห็นได้ด้วยสายตา ควรทำการตกแต่งให้เรียบร้อยทันที เมื่องานแล้วเสร็จ

เมื่อถอดแบบหล่อแล้ว ต้องแต่งผิวคอนกรีตที่เป็นรูพรุน ด้วยปูนซีเมนต์ผสมทรายละเอียดอัตราส่วน 1 : 1 เพื่ออุดรูพรุน ทำให้ผิวคอนกรีตเรียบและเกลี้ยงเท่านั้น ห้ามฉาบปูนทรายเป็นอันขาด ถ้าหากคอนกรีตเป็นรูโพรงจำนวนมาก จนเห็นว่าการอุดด้วยปูนผสมทรายละเอียด จะทำให้กำลังคอนกรีตส่วนนั้นเสื่อมไปให้สกัดส่วนนั้นออกทำการหล่อคอนกรีตใหม่

9.3 การรายงานผลงาน

9.3.1 รายงานรูปตัดของลำน้ำสภาพที่แท้จริงและค่าระดับว่าตรงกับแบบ บ.4.2 หรือไม่ โดยเขียนรูปตัดลำน้ำใหม่ทับลงไปในแบบ บ.4.2 และระบุตำแหน่งของตอม่อ

9.3.2 รายงานขั้นต้น

9.3.2.1 รายงานเริ่มดำเนินงานก่อสร้างของผู้รับจ้างให้เป็นไปตามสัญญา

9.3.2.2 รายงานชื่อของช่างควบคุมงานของบริษัทผู้รับจ้างที่ประจำอยู่หน้างาน

9.3.2.3 รายงานการตรวจสอบจำนวนกรรมกรไทย

9.3.3 การรายงานผลงานก้าวหน้าประจำเดือน โดยแบบ บ.4.2 ระบายสี

9.3.3.1 ส่งแบบ บ.4.2 ของแต่ละสะพาน ระบายสีแสดงผลงานก้าวหน้าประจำเดือนเดือนละ 1 ครั้ง

9.3.3.2 การระบายสีแสดงความก้าวหน้าของผลงานประจำเดือน ควรจะใช้สีละเดือนให้ระบุด้วยสีนั้นหมายถึงเดือนใด

9.3.3.3 ทุกครั้งที่มีการเทคอนกรีตส่วนต่างๆ เมื่อระบายสีแสดงผลงานก้าวหน้า ให้ระบุวันที่เทคอนกรีตด้วยทุกครั้ง

9.3.3.4 การตอกเสาเข็ม ให้บันทึกระดับปลายเสาเข็ม และวันที่ตอก สำหรับฐานแผ่ต้องบันทึกระดับที่ก้นฐานด้วย

9.3.3.5 แสดงลักษณะดินแต่ละชั้นที่ตรวจพบในการขุดดิน เพื่อทำการก่อสร้างฐานแผ่ลงระดับให้ชัดเจน

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

หมายเหตุ : ต้องส่งรายงานทันที อย่างช้าวันที่ 2 ของเดือนถัดไป

9.3.4 กรณีเกิดปัญหาขึ้นในระหว่างการก่อสร้าง ซึ่งช่างควบคุมงานไม่อาจวินิจฉัยให้ถูกต้องได้ให้รายงานสำนักฯเจ้าของงาน เพื่อพิจารณาสั่งการโดยด่วน

9.3.5 ช่างควบคุมงานทุกคนต้องมีสมุดบันทึกประจำวัน (Diary) เพื่อประโยชน์ในการทำรายงานและเพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบในบางโอกาส ให้บันทึกรายละเอียดประจำวันต่อไปนี้

9.3.5.1 บันทึกวันที่ให้เรียบร้อย

9.3.5.2 ลักษณะดินฟ้าอากาศ เป็นต้นว่า ฝนตก เมฆมาก แจ่มใส ฯลฯ

9.3.5.3 งานที่ช่างควบคุมปฏิบัติ

9.3.5.4 งานที่ผู้รับจ้างทำได้

9.3.5.5 อุปสรรค (ถ้ามี)

9.3.5.6 กรณีที่ผู้รับจ้างหยุดงานหรือไม่ทำงาน ให้ลงหมายเหตุไว้ให้ชัดเจนว่าเพราะเหตุใด

หมายเหตุ : การทำบันทึกประจำวัน เป็นประโยชน์ต่อการตรวจสอบงานเป็น ช่างควบคุมงานจะต้องลงบันทึกการปฏิบัติงานประจำวันทุกวัน เมื่อเรียกตรวจสอบจะต้องแสดงได้ทันที และเมื่องานก่อสร้างแล้วเสร็จให้ส่งสมุดบันทึกประจำวันเก็บพร้อม กับประวัติงานก่อสร้างด้วย

9.4 การตรวจรับงานและการจ่ายค่างาน

9.4.1 งานจ้างเหมาก่อสร้างสะพาน เป็นไปตามระเบียบของสำนักนายกรัฐมนตรี เรื่องการจ้าง ซึ่งจะต้องมีกรรมการตรวจการจ้างอย่างน้อย 3 ท่าน โดยปกติจะมีเจ้าหน้าที่จากสำนักทางหลวง แขวงการทางหรือสำนักงานบำรุงทาง และตัวแทนของสำนักฯ หรือนายช่างโครงการฯ กรรมการตรวจการจ้างมีหน้าที่รับผิดชอบร่วมกันในการควบคุมตรวจสอบให้การจ้างเป็นไปตามข้อกำหนดในสัญญา

9.4.2 การตรวจรับงานตามงวดการจ่ายเงิน ผู้รับจ้างจะต้องทำหนังสือถึงนายช่างโครงการฯ ว่าได้ทำงานเสร็จเรียบร้อยตามงวดการจ่ายเงิน ขอให้ตรวจรับ โดยนายช่างโครงการฯ ต้องทำบันทึกเสนอประธานกรรมการตรวจการจ้าง เพื่อนัดคณะกรรมการตรวจการจ้างให้ทำการตรวจรับงานต่อไป

9.4.3 การตรวจรับงานจ่ายเงินงวดสุดท้าย ซึ่งงานจะต้องเสร็จครบถ้วนบริบูรณ์ตามสัญญา และแบบแปลนทุกประการ และได้ส่งมอบงานให้แก่ผู้ว่าจ้าง หรือผู้แทนรับไว้เรียบร้อยแล้ว ให้ปฏิบัติดังนี้

9.4.3.1 ช่างควบคุมงานตรวจสอบโดยละเอียดว่างานที่ผู้รับจ้างได้ก่อสร้างแล้วเสร็จนั้นถูกต้องตามสัญญาครบถ้วนบริบูรณ์ทุกประการ เป็นต้นว่า ได้ถอดแบบรื้อนั่งร้าน รื้อโรงงาน รื้อสะพานเบี่ยง รื้อบ้านพัก และได้ขนออกจากบริเวณเรียบร้อยแล้วเกลี่ยและตกแต่งดินให้เป็นไปตามสภาพเดิมหรือตามที่แบบกำหนดแล้วเสร็จ

9.4.3.2 เมื่อผู้รับจ้างได้ทำหนังสือถึงช่างควบคุมงานว่าได้ทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้วตามสัญญาทุกประการแล้ว และขอให้ทำการตรวจรับ ให้ช่างควบคุมงานบันทึกรับรองว่าผู้รับจ้างได้ทำงานแล้วเสร็จบริบูรณ์ตามสัญญา เมื่อวันที่เท่าใด ขอให้คณะกรรมการทำการตรวจรับต่อไป และพร้อมกันนั้น ให้ผู้รับจ้างทำหนังสือขอมอบงานให้ผู้ว่าจ้างหรือผู้แทนด้วย ในหนังสือมอบงานจะต้องระบุวันที่ทำงานแล้วเสร็จบริบูรณ์ตามสัญญาให้ชัดเจน การลงนามรับมอบงาน คณะกรรมการตรวจรับต้องลงนามร่วมกันในวันที่ทำการตรวจรับงาน

หมายเหตุ:

(1) งานจะต้องเสร็จเรียบร้อยตามงวดจ่ายเงินจริงๆ เป็นต้นว่า งวดที่ 1 ก่อสร้างตอม่อแล้วเสร็จ 4 ตับ และหล่อพื้นสะพานได้ยาว 20.00 เมตร นั้น หมายถึงผู้รับจ้างได้ทำการก่อสร้างแล้วเสร็จตามเนื้องานดังกล่าว รวมทั้งได้ถอดแบบเมื่อครบกำหนดอายุ และได้ตกแต่งเรียบร้อยแล้วทุกประการ อย่าทำบันทึกล่วงหน้าเสนอคณะกรรมการให้ตรวจรับ โดยเชื่อว่างานจะเสร็จเรียบร้อยทันเวลา เมื่อคณะกรรมการทำการตรวจรับหรือเพราะเห็นว่าคณะกรรมการกว่าจะพร้อมกันมาทำการตรวจรับอีกหลายวัน การกระทำดังกล่าวให้ละเว้นโดยเด็ดขาด

(2) สำนักฯ จะดำเนินการเบิกจ่ายเงินค่างานของแต่ละงวดให้แก่ผู้รับจ้าง ก็ต่อเมื่อผลการทดลองแท่งคอนกรีตของเนื้องานในงวดนั้นๆที่อายุ 28 วัน มีผลการทดลองใช้ได้ (สำนักฯ จะเป็นผู้ตรวจสอบผลการทดลอง)

(3) กรณีที่ผู้รับจ้างไม่สามารถจะรื้อสะพานเบี่ยงได้ เนื่องจากทางแขวงการทางหรือสำนักงานบำรุงทาง ไม่ดำเนินการถมดินคอสะพาน เพื่อให้การจราจรผ่านไปมาได้ ให้นัดประชุมคณะกรรมการตรวจการจ้าง เพื่อหาข้อสรุป

(4) กรณีที่ผู้รับจ้างจะทำงานแล้วเสร็จ ในระยะเวลาใกล้เคียงกับวันสิ้นสุดสัญญาหรือไม่สามารถทำงานแล้วเสร็จในกำหนดสัญญา เพื่อขจัดปัญหาในเรื่องวันทำการแล้วเสร็จและเพื่อความรอบคอบ เพราะจะสืบเนื่องเกี่ยวกับการปรับให้ช่างควบคุมงานทำบันทึก (สำเนาเก็บไว้ด้วย) แจ้งคณะกรรมการตรวจการจ้างล่วงหน้าอย่างน้อยประมาณ 7 วัน ว่างานจะแล้วเสร็จบริบูรณ์ตามสัญญาประมาณเมื่อใด ขอให้มาตรวจสอบ เพื่อเห็นชอบในวันทำการแล้วเสร็จร่วมกัน

บทที่ 10 ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก (R.C. Box Culvert)

ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก (R.C. Box Culvert) หรือท่อเหลี่ยม คสล. เป็นส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งในการทำหน้าที่ระบายน้ำผิวดิน หรือทำหน้าที่อาคารระบายน้ำ (Drainage Structure) ท่อเหลี่ยม คสล. จัดเป็นโครงสร้างถาวร (Permanent Structure) เช่นเดียวกับสะพาน คสล. ที่มีอายุบริการยาวนานกว่าตัวคันทาง การสำรวจข้อมูลในสนาม การออกแบบและการก่อสร้างจึงต้องพิจารณาดำเนินการอย่างละเอียดรอบคอบเพื่อให้ได้ผลงานที่ดีมั่นคงแข็งแรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการอย่างคุ้มค่า

ขนาดของท่อเหลี่ยมเป็นไปตามที่ออกแบบให้เพียงพอสำหรับการระบายน้ำ โดยก่อสร้างตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวง ซึ่งมีขนาดที่จะเลือกใช้ให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำและสภาพพื้นที่ ทั้งแบบและวิธีการก่อสร้างไม่ยุ่งยากใช้เวลาดำเนินการสั้น

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

(1) ชนิดหล่อในที่ (Cast In-Place หรือ Cast In-Situ) ซึ่งมีทั้งแบบท่อเดียว (Single Cell) และแบบท่อตับ (Multiple Cells)

(2) ชนิดหล่อสำเร็จรูปจากโรงงาน (Pre-Cast Box Culvert) ซึ่งคุณลักษณะและมิติต่างๆ ของท่อเหลี่ยม คสล. ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐานของกรมทางหลวง (STANDARD DRAWINGS, 1994) มีสาระสำคัญโดยย่อ ดังนี้

(1) ท่อเหลี่ยมชนิดก่อสร้างในที่ (Cast In-Place)

- Rigid Frame R.C. Box Culverts มีทั้งแบบ Single Box และ Multiple Boxes สำหรับขนาด (Clear Span x Clear Depth) มีตั้งแต่ 2.10 ม. x 1.80 ม. จนถึง 3.60 ม. x 3.60 ม. ออกแบบรับดินถมหลังท่อสูงตั้งแต่ 0 ถึง 15 ม.
- Simple Span RC. Box Culverts มีทั้งแบบ Single Box และ Multiple Boxes ขนาดตั้งแต่ 0.60 ม. x 0.60 ม. จนถึง 1.80 ม. x 1.80 ม. ออกแบบรับดินหลังท่อสูงตั้งแต่ 0 ถึง 2.25 ม.

(2) ท่อเหลี่ยมชนิดหล่อสำเร็จรูป (Pre-Cast Box Culvert)

ท่อเหลี่ยม คสล. สำเร็จรูปมี 2 แบบ คือ แบบที่รับดินถมหลังท่อสูงไม่เกิน 0.60 ม. และแบบที่รับดินถมหลังท่อสูง 0.60 ม. ถึง 5.50 ม. สำหรับขนาดของท่อมีตั้งแต่ขนาด 1.20 ม. x 1.20 ม. จนถึง 2.40 ม. x 2.40 ม. และท่อเหลี่ยม คสล. สำเร็จรูปนี้สามารถวางเรียงชิดกันได้

(3) ฐานสำหรับท่อเหลี่ยม คสล.

ก่อนเริ่มดำเนินงานฐานราก ให้ผู้รับจ้างสำรวจและศึกษาด้านธรณีวิทยาและอื่นๆ ที่จำเป็นแล้วกำหนดประเภทของฐานรากที่เหมาะสมตามความเห็นชอบของผู้ควบคุมงาน

- กรณีไม่ใช้เสาเข็ม ผู้รับจ้างต้องขุดเลนทิ้งจนถึงดินแข็งแล้วใส่กรวดปนทรายหรือทรายหยาบ หรือวัสดุมวลรวม (Soil Aggregate) แล้วบดทับให้แน่น โดยมีความหนาตามที่ผู้ควบคุมงานเห็นชอบ ปรับระดับพื้นรองรับท่อให้เรียบร้อย ทำรองพื้นเพื่อวางท่อให้แนบสนิท แล้วเทคอนกรีตหยาบให้ได้ความหนาตามที่ระบุไว้ในแบบ กรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ในแบบให้ใช้ความหนาอย่างน้อย 100 มิลลิเมตร โดยมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 3 : 6 โดยปริมาตร
- กรณีใช้เสาเข็ม ซึ่งจะใช้ในกรณีท้องคลองเป็นดินอ่อนมาก หรือเป็นดินเลนลึก ให้ผู้รับจ้างทำฐานรากชนิดใช้เสาเข็มตามความเห็นชอบของผู้ควบคุมงาน

10.1 ขั้นตอนก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้าง

ก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้างท่อเหลี่ยม คสล. ควรดำเนินการดังต่อไปนี้

10.1.1 ตรวจสอบรายการก่อสร้าง รายละเอียดสัญญา รายละเอียดต่อท้ายสัญญา

10.1.2 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ขนาดและลักษณะของลำน้ำ ข้อมูลทางธรณีวิทยา ค่าระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุด แนวลำน้ำทำมุมกับแนวทาง ความกว้างของเขตทาง ต้องตรวจสอบความหนาดินถมหลังท่อ ขนาดและความยาวของท่อเหลี่ยมให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ

10.2 ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่ (Cast In-Place)

10.2.1 การเตรียมงานฐานราก (Bedding)

10.2.1.1 สำรวจสภาพดินเดิมบริเวณที่จะก่อสร้าง

10.2.1.2 กรณีที่ระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมสูงกว่าระดับทางน้ำไหลให้พิจารณาลดระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมลงโดยมีความหนาดินถมหลังท่อ (Back Fill) เป็นไปตามที่กำหนดไว้ ในแบบมาตรฐานของกรมทางหลวง และไม่ทำให้ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างเปลี่ยนแปลง หากโครงสร้างของท่อเหลี่ยมเปลี่ยนแปลง ให้รายงานสำนักฯ เจ้าของงานก่อนดำเนินการ

10.2.1.3 กรณีที่ระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยม ต่ำกว่าระดับทางน้ำไหล ให้พิจารณายกระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมขึ้น โดยมีความหนาดินถมหลังท่อ (Back Fill) เป็นไปตามที่กำหนดไว้ ในแบบมาตรฐานของกรมทางฯ และไม่ทำให้ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างเปลี่ยนแปลง หากดินถมหลังท่อเพิ่มขึ้นจนเป็นเหตุให้จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของท่อเหลี่ยมให้รายงานสำนักฯเจ้าของงานก่อนดำเนินการ

10.2.1.4 กรณีที่ระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมสูงกว่าหรือต่ำกว่าระดับทางน้ำไหลให้พิจารณาปรับระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมให้เหมาะสม

10.2.1.5 กำหนดตำแหน่งของท่อเหลี่ยมให้สอดคล้องกับทิศทางการไหลของน้ำทั้งทางด้านที่น้ำไหลเข้า (Inlet) และทางด้านที่น้ำไหลออก (Outlet) ให้เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงในสนาม โดยให้พิจารณาหากมีการก่อสร้างเต็มเขตทางด้วย

10.2.1.6 กรณีที่ท่อเหลี่ยมทำมุมกับแนวทาง (Skew) คลาดเคลื่อนกับแบบก่อสร้าง ทำให้มีปริมาณงานเปลี่ยนแปลงให้แจ้งสำนักฯเจ้าของงานก่อนดำเนินการ

10.2.1.7 ปรับระดับพื้นดินรองรับท่อเหลี่ยมให้เรียบร้อยพร้อมเทคอนกรีตหยาบส่วนผสม 1:3:6 โดยปริมาตร ความหนา 10 ซม. เว้นแต่แบบกำหนดเป็นอย่างอื่น

10.2.1.8 ถ้าดินใต้ระดับพื้นท่อเหลี่ยมที่เตรียมเทคอนกรีตหยาบเป็นดินอ่อนมากให้ขุดออก แล้วแทนที่ด้วยวัสดุทรายถมให้แข็งแรงพอต่อการเทคอนกรีตหยาบรองพื้น

10.2.2 การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

10.2.2.1 ตรวจสอบอัตราส่วนผสม การใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้ ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

10.2.2.2 ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด

10.2.2.3 ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion) ความสะอาด ของหินหรือกรวด และทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

10.2.2.4 ตรวจสอบแบบหล่อให้ได้ ขนาด ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ มีความแข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน

10.2.2.5 น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้

10.2.2.6 ตรวจชนิด ขนาด จำนวน ระยะห่าง ระยะทาบ ตำแหน่งการทาบ ความสะอาด ไม่มีสนิมขุม ของเหล็กเสริม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและข้อกำหนด

10.2.2.7 ตรวจระยะหุ้มคอนกรีต (Covering) ให้ตรงตามข้อกำหนด เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง (Bar Chair) รองรับให้แข็งแรงไม่ทรุด

10.2.2.8 ตรวจตำแหน่ง ขนาดเหล็ก Dowel และช่องเจาะต่างๆ ให้ครบถ้วนตามแบบ

10.2.2.9 ตรวจจำนวนคนงาน,ช่างและเครื่องมืออุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เพียงพอกับลักษณะงานและปริมาณงาน

10.2.2.10 ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม

10.2.2.11 ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีตและต้องเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

10.2.3 การเทคอนกรีต

10.2.3.1 การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากช่างผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง

10.2.3.2 ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วนผสมหรือข้อกำหนด

10.2.3.3 หากใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ให้ควบคุมเวลาในการผสมคอนกรีตให้เหมาะสม ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว

10.2.3.4 ตรวจสอบการขนส่งคอนกรีตจากรถขนส่งไปยังจุดที่ต้องการเทโดยไม่ให้เกิดการแยกตัว ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยในการเทคอนกรีตเพื่อป้องกันการแยกตัวในกรณีที่ระยะปล่อยคอนกรีตสูงเกินกว่า 2.00 เมตร

10.2.3.5 ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump)ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด

10.2.3.6 ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Vibrator) อย่างถูกวิธี

10.2.3.7 ควบคุมการเก็บแท่งคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อทดสอบความสามารถการรับแรงอัด

10.2.3.8 การเทคอนกรีตใหม่เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้งให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน พร้อมกับทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูน หรือน้ำยาประสานคอนกรีตบนผิวบริเวณที่เตรียมไว้แล้วเทคอนกรีตใหม่ทันที

10.2.3.9 ขณะที่เทคอนกรีตต้องตรวจสอบเหล็ก Dowel และช่องเจาะต่างๆ ไม่ให้มีการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิม

10.2.3.10 เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที

10.2.3.11 การถอดแบบอนุญาตให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตครบอายุ ตามข้อกำหนด ต่อไปนี้

10.2.3.11.1 แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน

10.2.3.11.2 แบบประกอบด้านล่างรองรับคาน พื้นบน 14 วัน

10.2.3.11.3 ในกรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้นต้องไม่น้อยกว่าความสามารถรับแรงอัดที่ 28 วัน

10.2.3.12 ภายหลังถอดแบบหากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีตให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อนายช่างควบคุมงานโดยทันทีเพื่อพิจารณาให้ความเห็นชอบก่อนดำเนินการ

10.2.3.13 วัสดุที่ใช้สำหรับทำรอยต่อระหว่างตัวท่อเหลี่ยมและปากท่อ การติดตั้งต้องปฏิบัติให้ได้ตามมาตรฐานและข้อกำหนด

10.2.3.14 ตรวจสอบผลการทดลองความสามารถรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด

10.2.3.15 หากผลการทดลองไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ให้ผู้ควบคุมงานรายงานสำนักฯ เจ้าของงานทราบโดยทันที

10.2.3.16 ลงวัสดุถมด้านข้างและด้านบนตามที่ระบุในแบบเป็นชั้นๆ ชั้นละไม่เกิน 15 ซม. แต่ละชั้นให้บดทับด้วย Mechanical Tamper Vibratory Compactor จนได้ระดับและความหนาแน่นตามที่ระบุไว้ในแบบและรายละเอียดและข้อกำหนดก่อสร้างทางหลวง

10.2.3.17 ทำความสะอาดให้เรียบร้อย รวมทั้งการปรับแต่งทางน้ำและกำจัดเศษวัสดุเมื่องานแล้วเสร็จ (Final Clean–Up)

10.3 ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อสำเร็จรูปจากโรงงาน (Pre-Cast Box Culvert)

10.3.1 ตรวจสอบสภาพทั่วไปของโรงงาน

10.3.1.1 ตรวจสอบสภาพทั่วไปของโรงงาน สภาพการทำงาน ขั้นตอนการผลิต ที่มีผลต่องานโครงสร้าง Box Culvert

10.3.1.2 ตรวจสอบแบบหล่อและขนาด ให้ได้มิติตามที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

10.3.2 การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีตในโรงงาน

10.3.2.1 ตรวจสอบอัตราส่วนผสม การใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้ ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

10.3.2.2 ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด

10.3.2.3 ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion) ความสะอาด ของหินหรือกรวด และทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

10.3.2.4 ตรวจสอบแบบหล่อให้ได้ ขนาด ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ มีความแข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน

10.3.2.5 น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้

10.3.2.6 ตรวจชนิด ขนาด จำนวน ระยะห่าง ระยะทาบ ตำแหน่งการทาบ ความสะอาด ไม่มีสนิมขุม ของเหล็กเสริม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและข้อกำหนด

10.3.2.7 ตรวจระยะ Covering ให้ตรงตามข้อกำหนด

10.3.2.8 ตรวจตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์เหล็ก Dowel ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆ ให้ครบถ้วนตามแบบ

10.3.2.9 กรณี Box Culvert ที่เป็นท่อนปลายต้องเสริมเหล็ก Dowel ให้ยาวยื่นออกมาไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม เพื่อใช้ต่อชานปากท่อและกำแพงกันดิน

10.3.2.10 จัดเตรียมจำนวนคนงานและช่าง เครื่องมืออุปกรณ์ในการเทคอนกรีตให้เพียงพอกับลักษณะงานและปริมาณงาน

10.3.2.11 ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม

10.3.3 การเทคอนกรีต

10.3.3.1 การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากช่างผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง

10.3.3.2 ตรวจสอบแบบหล่อและขนาด แบบรายละเอียดให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างที่กำหนดไว้ หากมีการเปลี่ยนแปลงชนิดและขนาดของเหล็กเสริมต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักฯเจ้าของงาน

10.3.3.3 เทคอนกรีต ในแบบที่เตรียมไว้และตรวจสอบวิธีการที่ทำให้คอนกรีตแน่นตัว โดยไม่ให้เหล็กเสริมเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด

10.3.3.4 ตรวจสอบสภาพคอนกรีตหลังการถอดแบบ หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีตให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไข ต่อนายช่างควบคุมงาน

10.3.3.5 ตรวจสอบผลการทดลองความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด หากผลการทดลองไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ให้ผู้ควบคุมงานรายงานสำนักฯเจ้าของงานทราบโดยทันที

10.3.3.6 ควบคุมการบ่มคอนกรีต การกองเก็บ และการขนส่ง

10.3.4 การเตรียมงานฐานราก (Bedding)

10.3.4.1 ปรับระดับพื้นดินรองรับท่อเหลี่ยมให้เรียบร้อยพร้อมเทคอนกรีตหยาบส่วนผสม 1:3:6 โดยปริมาตร ความหนาไม่น้อยกว่า 12 ซม. เว้นแต่แบบกำหนดเป็นอย่างอื่นถ้าดินใต้ระดับพื้นท่อเหลี่ยมที่เตรียมเทคอนกรีตหยาบเป็นดินอ่อนมากให้ขุดออก แล้วแทนที่ด้วยวัสดุทรายถมให้แข็งแรงพอต่อการเทคอนกรีตหยาบรองพื้น

10.3.4.2 การกำหนดระดับการเทคอนกรีตหยาบต้องให้ต่ำกว่าระดับจริงประมาณ 3 ซม. เมื่อคอนกรีตหยาบแข็งตัวสามารถรับน้ำหนักได้แล้ว ทำการติดตั้ง Box Culvert โดยการใช้Cement Mortar อัตราส่วนผสม 1:2 (โดยปริมาตร) แล้วเทลงบนคอนกรีตหยาบที่ได้ดำเนินการไว้แล้ว โดยต้องให้มีปริมาณและความหนาเพียงพอที่จะอุดช่องว่างรอยต่อระหว่าง Box Culvert แต่ละท่อนกับคอนกรีตหยาบ

10.3.5 งานติดตั้งในสนาม

10.3.5.1 ตรวจสอบแนวของท่อเหลี่ยม และวิธีการติดตั้งท่อเหลี่ยมให้ถูกต้องตามข้อกำหนด

10.3.5.2 กำหนดตำแหน่งและจัดลำดับ ในการวางของท่อเหลี่ยมหล่อสำเร็จและท่อเหลี่ยมหล่อในที่ให้ได้ความยาวตามที่แบบกำหนด

10.3.5.3 ก่อนติดตั้งให้ตรวจสอบจำนวนคนงานและเครื่องไม้เครื่องมือที่จะใช้ให้สมบูรณ์ครบถ้วน

10.3.5.4 ทำการเข้าแบบเทคอนกรีตต่อความยาวของท่อเหลี่ยมให้ได้ตามแบบ (กรณีไม่ได้สั่งหล่อท่อนปลายจากโรงงาน) พร้อมฝังเหล็ก Dowel สำหรับเชื่อมต่อกับกำแพงปีกและพื้นชานหน้าท่อ

10.3.5.5 ควบคุมการก่อสร้างต่อความยาวส่วนปลายของท่อเหลี่ยมทั้ง 2 ข้าง ให้ได้ตามแบบกำหนดพร้อมฝังเหล็ก Dowel เพื่อก่อสร้างกำแพงปีกและพื้นชานหน้าท่อ

10.3.5.6 ควบคุมการอุดรอยต่อ (Joint Sealer) ของท่อเหลี่ยมด้านนอกและด้านในด้วย Cement Mortar และเทคอนกรีตทับบนหลังท่อให้เป็นไปตามแบบกำหนด

10.3.5.7 ควบคุมการบ่มคอนกรีตที่เททับบนหลังท่อเหลี่ยม

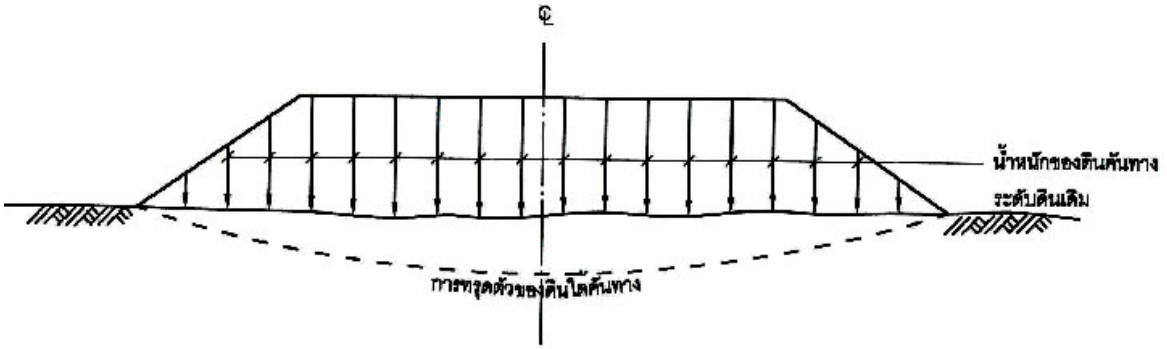
10.3.5.8 ลงวัสดุถมด้านข้างและด้านบนตามที่ระบุในแบบเป็นชั้นๆ ชั้นละไม่เกิน 15 เซนติเมตร แต่ละชั้นให้บดทับด้วย Mechanical Tamper Vibratory Compactor จนได้ระดับและความหนาแน่นตามที่ระบุไว้ในแบบและรายละเอียดและข้อกำหนดก่อสร้างทางหลวง

10.3.5.9 ทำความสะอาดให้เรียบร้อย รวมทั้งการปรับแต่งทางน้ำและกำจัดเศษวัสดุเมื่องานแล้วเสร็จ (Final Clean–Up)

10.4 การก่อสร้างในพื้นที่ดินอ่อน (Soft Clay)

ในกรณีพื้นที่ก่อสร้างที่เป็นดินอ่อน (Soft Clay) ซึ่งมีปัญหาการทรุดตัวของดินเดิมใต้คันทาง ควรพิจารณาใช้ท่อเหลี่ยม แทนท่อกลมคอนกรีตเสริมเหล็ก (R.C. Pipe Culvert) เพื่อลดปัญหาการชำรุดของท่อเนื่องจากการทรุดตัวของดินใต้คันทาง การทรุดตัวของดินที่รองรับคันทาง อาจวิเคราะห์ปริมาณหรือ

ลักษณะการทรุดตัว รวมทั้งระยะเวลาในการทรุดตัวได้ โดยอาศัยข้อมูลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินชั้นต่างๆ ที่รองรับคันทางรวมทั้งจากการทดสอบการยุบตัวของตัวอย่างดิน



รูปที่ 10.1 การทรุดตัวของดินคันทางบนดินอ่อน

จากรูปที่ 10.1 ทางการทรุดตัวของดินคันทางบริเวณช่วงกลางจะมากกว่าด้านขอบทาง ดังนั้นท่อลอดคันทางถ้าไม่แข็งมาก (Stiff) ก็ย่อมจะเกิดการแอ่นตัวตามการทรุดตัวของชั้นดินใต้ทาง จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น โครงสร้างของท่อลอดคันทางซึ่งมีดินฐานรากเป็นดินอ่อนจะต้องมี Beam Strength หรือ Flexural Strength เพื่อต่อสู้กับการแอ่นตัวอันเนื่องมาจากการทรุดตัวของดินใต้คันทาง ดังนั้นตัวท่อจึงควรเป็นท่อยาว เต็มความกว้างของคันทาง เช่นใช้ Corrugated Steel Pipe หรือก่อสร้างเป็นเนื้อเดียวกัน (Monolithic Construction) เช่น ท่อเหลี่ยม คสล. เป็นต้น

กล่าวโดยสรุป การวางท่อใต้คันทางบนดินอ่อน จะต้องมีการปรับปรุงชั้นดินอ่อนก่อน (วิธี Preloading เป็นวิธีที่เหมาะสมและประหยัดอีกทางเลือกหนึ่ง แต่จะต้องใช้เวลาในการดำเนินการค่อนข้างยาวนาน) แล้วจึงดำเนินการวางท่อตามแบบก่อสร้างและข้อกำหนดต่อไป สำหรับชนิดของท่อควรใช้ท่อเหลี่ยม คสล. แบบหล่อในที่ เพราะมี Stiffness สูง และถ้าเป็นไปได้ ในการกำหนดแบบท่อหากพิจารณาใช้ขนาดท่อ ซึ่งมีน้ำหนักเท่ากับน้ำหนักของดินคันทางที่ถูกแทนที่โดยท่อโดยประมาณ จะทำให้การยุบตัวของดินฐานรากสม่ำเสมอ ซึ่งหมายถึงผิวจราจรจะราบเรียบตามที่ต้องการ

หากจะมีแนวคิดว่า ถ้าตอกเสาเข็มรองรับทั้งคันทางและท่อเพื่อไม่ให้เกิดการทรุดตัวก็อาจทำได้ ดังเช่น คันทางรถไฟสายฉะเชิงเทรา-ชลบุรี บางตอนมีการใช้เสาเข็ม คสล. ตอกลงถึงชั้นดินแข็งเพื่อรองรับเฉพาะท่อ ก็ควรจะต้องพิจารณาให้ถี่ถ้วนถึงผลดีผลเสีย กล่าวคือ ถ้าใช้เสาเข็มยาวถึงชั้นดินแข็งเพื่อรองรับท่อ (เพื่อไม่ให้ท่อทรุดหรือแอ่นตัว) ก็จะเกิดความแตกต่างในระดับผิวทางบริเวณตำแหน่งท่อ เพราะคันทางยังทรุดตัว แต่ถ้าจะใช้ Friction Piles เพื่อพยุงท่อ การทรุดตัวซึ่งทำให้เกิดความไม่ราบเรียบของระดับผิวทางก็ยังมีอยู่ และการแอ่นตัวของท่อ (ในทิศทางตั้งฉากกับการจราจร) อันเนื่องมาจากน้ำหนักของคันทางก็ยังคงเกิดขึ้น ดังนั้นถ้าหากใช้ท่อ คสล. (เป็นท่อน) ก็ย่อมเกิดความชำรุดเสียหายอย่างแน่นอน

บทที่ 11 ท่อกลมคอนกรีตเสริมเหล็ก (R.C. Pipe Culvert)

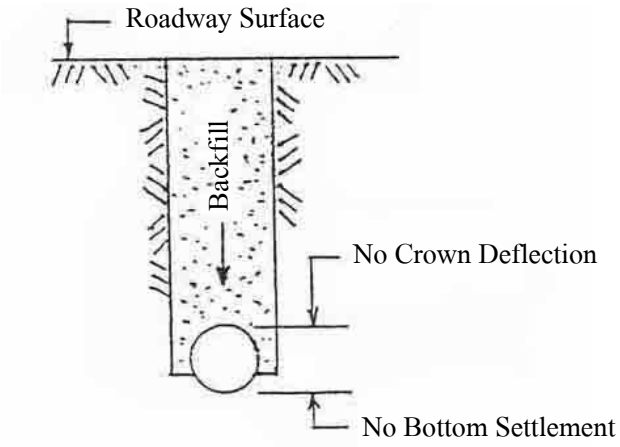
ท่อกลมคอนกรีตเสริมเหล็ก (R.C. Pipe Culvert) หรือท่อกลม คสล. เป็นส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งในการทำหน้าที่ระบายน้ำผิวดิน หรือทำหน้าที่เป็นอาคารระบายน้ำ (Drainage Structure) ถึงแม้ว่าความมั่นคงถาวรจะเทียบไม่ได้กับสะพาน คสล. และ ท่อเหลี่ยม คสล. การสำรวจข้อมูลในสนาม การออกแบบและการก่อสร้างก็ควรพิจารณาดำเนินการอย่างละเอียดรอบคอบเช่นกัน เพื่อให้ได้ผลงานที่ดีมั่นคงแข็งแรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการอย่างคุ้มค่า

11.1 พฤติกรรมเชื่อมโยงระหว่างดินกับท่อ (Soil-Culvert Interactions)

ท่อในงานก่อสร้างทางในปัจจุบันเป็น Rigid Culvert ทั้งหมด ดังนั้นพฤติกรรมเชื่อมโยงระหว่างดินกับท่อ (Soil-Culvert Interactions) ที่จะกล่าวถึงนี้ จะมุ่งเน้นเฉพาะ Rigid Culvert เท่านั้น

11.1.1 วางในร่องบนฐานรากที่ไม่ทรุดตัว (Rigid Culvert in Trench, Unyielding Foundation)

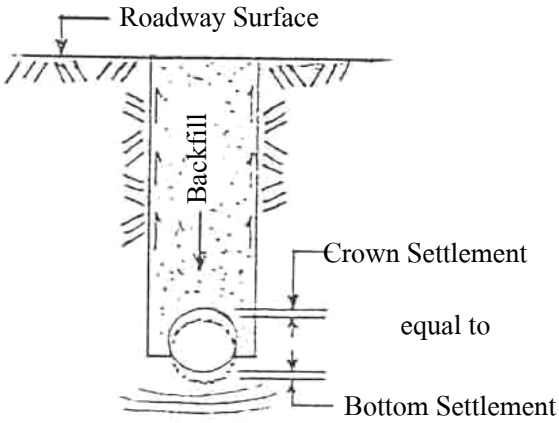
เนื่องจากการวางท่อกรณีนี้พื้นไม่ทรุด และไม่มี Crown Deflection เพราะเป็น Rigid Culvert ดังนั้น Frictional Resistance ที่ผิวผนังของร่องที่ขุดไว้จึงไม่เกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้น้ำหนักของดินที่กดหลังท่อประเภท Rigid Type จึงมากกว่าประเภท Flexible Type



รูปที่ 11.1 กรณีวางในร่องบนฐานรากที่ไม่ทรุดตัว
(Rigid Culvert in Trench, Unyielding Foundation)

11.1.2 วางในร่องบนฐานรากที่ทรุดตัวได้ (Rigid Culvert in Trench, Yielding Foundation)

กรณีนี้ Rigid Culvert ทรุดตัวเนื่องจากเกิด Settlement เพราะ Yielding Foundation ดังนั้น Frictional Resistance ตามผิวผนังของร่องที่ขุดไว้ จึงมีบทบาทในการพยุง Backfill ที่ทรุดตัวตามท่อ กรณีนี้ท่อจะรับน้ำหนักดินหลังท่อน้อยกว่า Rigid Culvert In Trench, Unyielding Foundation ส่วนกรณีเปรียบเทียบกับ Flexible Culvert in Trench, Unyielding Foundation นั้นขึ้นอยู่กับ Crown Deflection กับ Crown Settlement ว่ากรณีใดจะมากหรือน้อยกว่ากัน



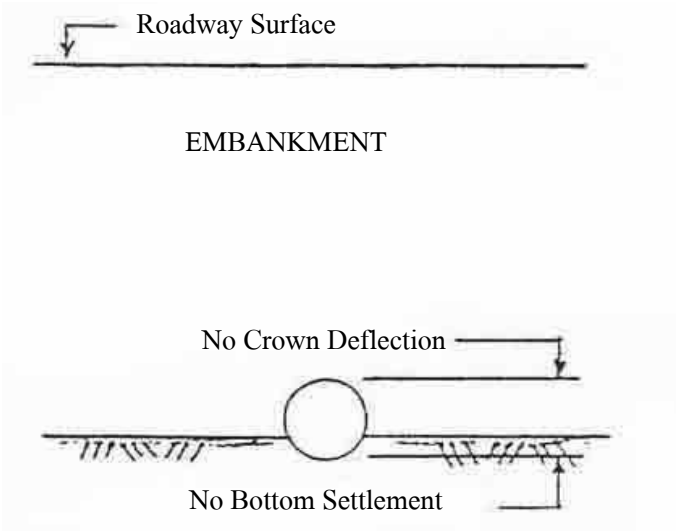
รูปที่ 11.2 กรณีวางในร่องบนฐานรากที่ทรุดตัวได้

(Rigid Culvert in Trench, Yielding Foundation)

11.1.3 วางใต้คันทางบนฐานรากที่ไม่ทรุดตัว

(Rigid Culvert under Embankment, Unyielding Foundation)

กรณีนี้เห็นชัดว่าดินข้างท่อจะยุบตัวมากกว่าดินหลังท่อตามหลัก Mechanics แต่เนื่องจากไม่มี Crown Deflection เพราะเป็น Rigid Culvert และไม่มี Bottom Settlement เพราะเป็น Unyielding Foundation กรณีนี้จึงร้ายแรงที่สุด คือ น้ำหนักดินกดหลังท่อจะมากที่สุดมากกว่าทุกรูปแบบของการวางท่อ



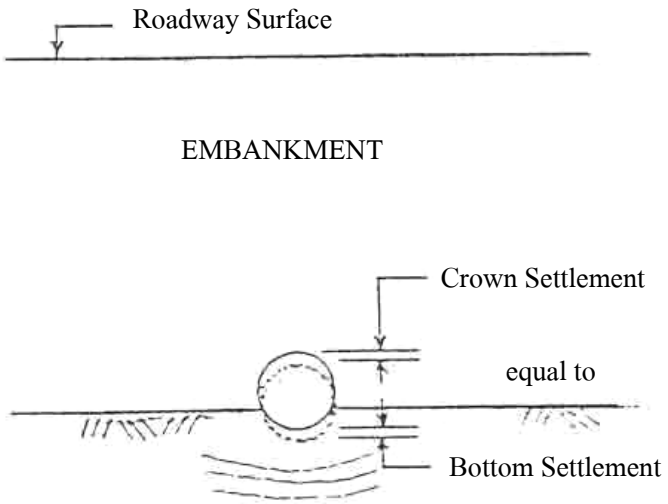
รูปที่ 11.3 วางใต้คันทางบนฐานรากที่ไม่ทรุดตัว

(Rigid Culvert under Embankment, Unyielding Foundation)

11.1.4 วางใต้คันทางบนฐานรากที่ทรุดตัวได้

(Rigid Culvert under Embankment, Yielding Foundation)

กรณีนี้ท่อทรุดตัวเนื่องจาก Yielding Foundation ดังนั้นน้ำหนักดินกดหลังท่อจะน้อยกว่า Rigid Culvert under Embankment, Unyielding Foundation แต่จะมากกว่าหรือน้อยกว่า Flexible Culvert under Embankment, Yielding Foundation ขึ้นอยู่กับระยะเคลื่อนตัวของหลังท่อว่ากรณีไหนจะมากกว่ากัน



รูปที่ 11.4 วางใต้คันทางบนฐานรากที่ทรุดตัวได้

(Rigid Culvert under Embankment, Yielding Foundation)

11.2 การวางท่อตามมาตรฐานการก่อสร้างทาง

หลักปฏิบัติที่ใช้ในการวางท่อในทางหลวงโดยทั่วไป มักจะกำหนดเป็นรูปแบบการวางท่อโดยดำเนินการตามข้อกำหนดการก่อสร้าง รูปแบบการวางท่อที่ถือปฏิบัติโดยทั่วไป มีดังนี้

11.2.1 Trench or Ditch Method ซึ่งหมายถึงการวางท่อโดยติดตั้งฝังท่ออยู่ในร่องดินแคบๆ ซึ่งได้เตรียมไว้แล้วตามข้อกำหนด

11.2.2 Embankment or Projection Method หมายถึง การวางท่อโดยวิธีติดตั้งท่อบนดินหรือฐานที่ได้ปรับไว้รองรับ โดยตัวท่อหรือส่วนบนของท่ออยู่เหนือระดับพื้นดินเดิมแล้วจึงดำเนินการก่อสร้างดินคันทางปิดทับ การวางท่อโดยวิธี Embankment แบ่งย่อยละเอียดลงไปอีกตามสภาพของสนามหรือที่ตั้งของท่อ กล่าวคือ การวางท่อตามกระบวนการที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เรียกว่า Positive Projecting Type ส่วนการก่อสร้างแบบ Embankment อีกวิธีหนึ่งเป็นกรณีที่จำเป็นต้องติดตั้งฝังท่อลงในร่องตื้นๆ เพื่อให้เหมาะสมกับร่องน้ำ หลังจากนั้นจึงก่อสร้างดินคันทางเหนือท่อต่อไป การวางท่อโดยวิธีนี้เรียกว่า Negative Projecting Type การที่แบ่งวิธีการวางท่อแบบ Embankment ย่อยลงไปเป็น Positive และ

Negative Projecting Type นี้ สืบเนื่องมาจากพฤติกรรมที่เกี่ยวโยงระหว่างดินกับท่อ (Soil-Culvert Interaction) แตกต่างกัน ดังนั้นในการวิเคราะห์น้ำหนักดินกดท่อหรือ Direct Design จึงต้องจำแนกชนิดออกไป แต่ในด้านการก่อสร้างแล้วถือว่าเป็น Embankment Method โดยรวม

11.2.3 Induced Trench Or Incomplete Trench Method เป็นวิธีการวางท่อเพื่อลดน้ำหนักดินที่กดลงท่อในกรณีที่เป็น High Fill หรือดินคันทางสูง โดยกำหนดวิธีการวางท่อและการก่อสร้างคันทางเหนือท่อให้เกิด Earth Arch หรือ Arching Action ซึ่งจะช่วยพยุงดินเหนือท่อ ทำให้น้ำหนักดินกดลงท่อลดน้อยลง

11.2.4 Jacking/Drilling/Tunneling Methods เป็นวิธีการเฉพาะในการวางท่อลอดคันทางโดยการดัน การเจาะหรือการขุดอุโมงค์ เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรม ความปลอดภัยของการจราจร และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ซึ่งจะต้องมีการพิจารณาในรายละเอียดเป็นรายๆ ไป

11.3 การปรับพื้นที่เพื่อรองรับท่อกลม คสล.

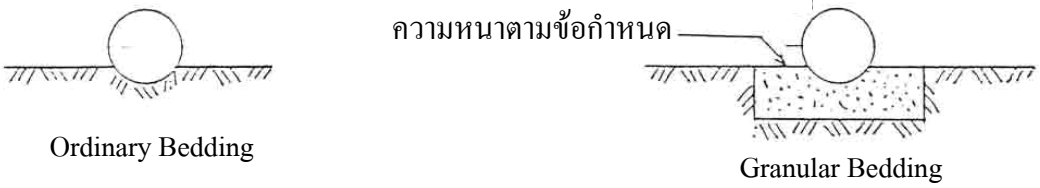
พื้นรองรับท่อ (Bedding) ที่ใช้กันมีหลายแบบ ความสำคัญของพื้นรองรับท่อก็คือมีผลกระทบโดยตรงกับ Supporting Strength ของท่อ เพราะถ้าหากไม่ปรับดินหรือวัสดุที่เป็นฐานรองรับท่อให้ส่วนล่างของท่อวางได้แนบสนิทแล้ว ท่อคงไม่สามารถที่จะรับแรงหรือน้ำหนักตามที่ได้คาดหรือกำหนดไว้ในการออกแบบ กล่าวคือ ในการวิเคราะห์โครงสร้างของท่อ ท่อจะต้องอยู่ในสภาพ ‘Uniformly Supported’ เป็นสมมติฐานที่สำคัญ

จะเห็นได้ว่า Bedding สำหรับท่อเป็นองค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งในการวางท่อ ซึ่งโดยทั่วไปข้อกำหนดในการก่อสร้างทางเกี่ยวกับการวางท่อ จะระบุให้เตรียมพื้นสำหรับรองรับท่อตามที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง ซึ่งอาจจะมีรายละเอียดแตกต่างกันตาม Practice ของหน่วยงาน แต่ Typical Bedding ที่ใช้กันทั่วไปมีดังนี้

11.3.1 Ordinary Bedding เป็นการปรับพื้นดินเดิมให้เรียบแล้วขุดเป็นรางหรือร่องโค้งรับท้องท่อที่จะนำมาวาง แต่วิธีนี้หน่วยงานหลายแห่งไม่นิยมใช้ เพราะการทำรางรองรับท่อให้ดีทำได้ยากอาจทำให้ Supporting Strength ของท่อลดน้อยลงหรือทำให้ท่อแตกหักได้ง่าย

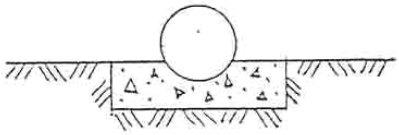
11.3.2 Granular Bedding หรือ Compacted Granular Material Foundation เพราะก่อสร้างง่าย และรองรับท่อได้ดี จึงใช้กันโดยทั่วไปทั้งกรณี Yielding และ Unyielding Foundation

11.3.3 Concrete Cradle หรือ Concrete Saddle เป็น Bedding ที่ไม่อยู่ในคำแนะนำของ AASHTO เข้าใจว่ามีเหตุผลสำคัญคือ เมื่อเทียบกับ Granular Foundation แล้วจะก่อสร้างยากกว่า และมีค่าก่อสร้างสูงกว่า ประกอบกับในด้าน Supporting Strength ก็ไม่เหนือกว่าแต่ประการใด



Ordinary Bedding

Granular Bedding



Concrete Cradle

รูปที่ 11.5 รูปแบบการปรับพื้นที่เพื่อรองรับท่อ

11.4 การติดตั้งท่อกลม คสล.

ขั้นตอนการติดตั้งท่อกลม คสล. โดยทั่วไปมีดังนี้

11.4.1 ตรวจสอบระดับการระบายน้ำให้เหมาะสมกับสภาพหน้างาน

11.4.2 เตรียมพื้นที่รองรับ (Bedding) ตามที่ระบุในแบบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ

11.4.2.1 ถ้าดินเดิมเป็นดินอ่อน ให้ใช้ Concrete Cradle Bedding

11.4.2.2 ถ้าดินเดิมเป็นดินแข็งทั่วไป ให้ใช้ Ordinary Bedding

11.4.2.3 ถ้าดินเดิมเป็นหิน ให้ใช้ Bedding for Rock or Unyielding Foundation

11.4.3 ตรวจสอบระดับของพื้นที่รองรับ

11.4.4 ตรวจสอบความหนาแน่น (กรณีที่ระบุ) ของพื้นที่รองรับ

11.4.5 กำหนดและตรวจสอบแนวการวางตัวของท่อกลม คสล.

11.4.6 จัดวางท่อกลม คสล. ตามลำดับ

11.4.7 ยาแนวอุดรอยต่อให้เรียบร้อยทั้งภายนอกและภายในท่อกลม คสล.

11.4.8 ลงวัสดุถมด้านข้างและด้านบนตามที่ระบุในแบบเป็นชั้นๆ ชั้นละไม่เกิน 15 เซนติเมตร แต่ละชั้นให้บดทับด้วย Mechanical Tamper Vibratory Compactor จนได้ระดับและความหนาแน่นตามที่ระบุไว้ในแบบและรายละเอียดและข้อกำหนดก่อสร้างทางหลวง

11.4.9 ทำความสะอาดให้เรียบร้อย รวมทั้งการปรับแต่งทางน้ำและกำจัดเศษวัสดุเมื่องานแล้วเสร็จ (Final Clean–Up)

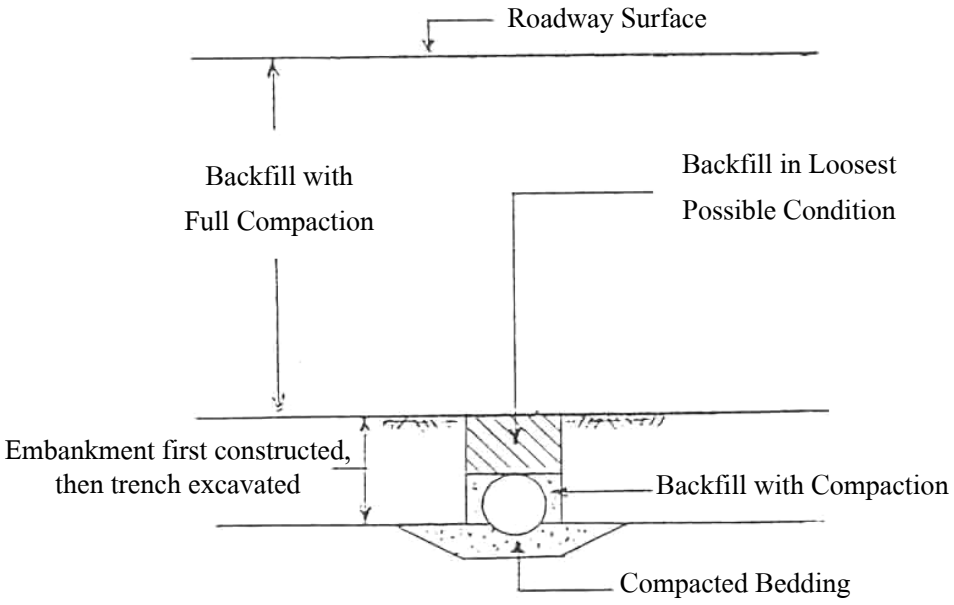
11.5 การวางท่อบนดินอ่อน

การก่อสร้างทางบนดินอ่อน เช่น ในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลหรือบริเวณชายฝั่งทะเล ปัญหาใหญ่คือ การทรุดตัวของคันทาง ซึ่งย่อมมีผลกระทบโดยตรงต่อท่อลอดคันทางอย่างแน่นอน ในเส้นทางบางนา-บางปะกง หรือเส้นทางธนบุรี-ปากท่อ ซึ่งเป็นตัวอย่างของทางหลวงที่ได้ก่อสร้างบนดินอ่อน จะเห็นการทรุดตัวของคันทางอย่างชัดเจนจนบางแห่งระดับผิวทางจมลงไปเกือบเท่ากับระดับท้องนาที่อยู่ข้างทาง ผิวทางตรงกลางจะทรุดต่ำกว่าด้านนอก มีน้ำขังเมื่อฝนตก ดินคอสะพานทรุดจนรถวิ่งสะดุดเพราะระดับคันทางกับคอสะพานทรุดตัวไม่เท่ากัน

ปัจจุบันเทคโนโลยีการก่อสร้างทางบนดินอ่อนมีวิธีการปรับปรุงชั้นดินอ่อนหลายรูปแบบ เช่น การบรรทุกน้ำหนัก (Pre-Loading) เพื่อเร่งให้ดินยุบตัว (Consolidation) เร็วขึ้น การใช้ Prefabricated Vertical Drains (PVD) เพื่อช่วยระบายน้ำในดินให้เร็วขึ้น การใช้ Cement Column คือ การกวนผสมซีเมนต์กับดินในที่ (คล้ายๆ กับการทำให้เป็นเสาเข็มช่วยรับน้ำหนักดินคันทาง) เป็นต้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นสิ่งจำเป็นในการก่อสร้างทางบนดินอ่อน เพราะเป็นการเพิ่มกำลังในการรับน้ำหนักให้กับดินฐานรากด้วย แต่ถึงอย่างไรก็ตามชั้นดินอ่อนก็ยังคงทรุดตัวต่อไปอีกแต่จะช้าลง ดังนั้นประเด็นสำคัญที่เกี่ยวกับการวางท่อบนดินอ่อนก็คือจะต้องมีการปรับปรุงชั้นดินอ่อนก่อนจะโดยวิธีการใดก็ตาม ทั้งนี้เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับท่อจากการยุบตัวของชั้นดินอ่อนในคาบเวลาข้างหน้า

11.6 การลดผลกระทบจากดินถมหลังท่อ (Induced or Imperfect Trench)

ในกรณีที่จะต้องก่อสร้างดินถมหลังท่อสูงมาก มีข้อแนะนำในการปฏิบัติเพื่อลดน้ำหนักดินกดหลังท่อ โดยอาศัยหลักการ Arch หรือ Arching Action ของดินพยุงน้ำหนักดินเหนือท่อ กล่าวคือ หลังจากเตรียมดินรองรับท่อแล้วทำการก่อสร้างคันทาง (Compacted Embankment) สูงประมาณ 2 เท่าของขนาดท่อ แล้วขุดร่อง วางท่อ ถมดินข้างท่อและบดอัดให้แน่นส่วนที่อยู่หลังท่ออาจใช้ฟาง ขี้เลื่อย ใบไม้ ผสมดินถมหลังท่อโดยไม่ต้องบดอัดมาก (เพื่อให้เกิด Loosest Possible Condition) ก็เพื่อต้องการให้เกิด Earth Arch นั่นเอง



รูปที่ 11.6 การลดผลกระทบจากดินถมหลังท่อ (Induced or Imperfect Trench)

บรรณานุกรม

กรมทางหลวง. **ชุดฝึกอบรมหมวดวิศวกรรม ชุดที่ 8** . กรมทางหลวง, กระทรวงคมนาคม.

กรมทางหลวง. **รายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 2**. กรมทางหลวง, กระทรวงคมนาคม กรุงเทพฯ. 2536.

กรมทางหลวง. **แบบมาตรฐานกรมทางหลวง**. กรมทางหลวง, กระทรวงคมนาคม. 2538.

ก่อสร้างทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงพิเศษ. **คู่มือการควบคุมงานก่อสร้างสะพาน และท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก**. ปรับปรุงครั้งที่ 3. กรมทางหลวง, กระทรวงคมนาคม. กรุงเทพฯ. 2518.

ต่อกุล กาญจนาลัย. **การออกแบบคอนกรีตอัดแรง**. หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซนเตอร์. 2528. หน้า 198 – 200.

วิชัย เยี่ยงวีรชน. **การสำรวจรังวัด: ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2549.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมป์. **ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กันยายน 2548.

สนั่น เจริญเผ่า, วินิต ช่อวิเชียร. **การออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก**. พิมพ์ครั้งที่ 7. หจก. ป.สัมพันธ์พานิช. 2530.

สนั่น เจริญเผ่า, วินิต ช่อวิเชียร. **คอนกรีตเสริมเหล็ก**. พิมพ์ครั้งที่ 8. หจก. ป.สัมพันธ์พานิช.

เสรี สุงาม. **Reinforced Earth Wall**. ศูนย์สร้างและบูรณะสะพานที่ 2, สำนักก่อสร้างสะพาน, กรมทางหลวง. 2541.

สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง. **คู่มือควบคุมงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม คสล**. ฉบับปรับปรุงและแก้ไขครั้งที่ 4. 2550.

สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง. **คู่มือวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม**. 2549.

เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ. **แบบหล่อคอนกรีต**. คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 2529.

Bowles , J.E., **Foundation Analysis and Design**, Fourth Edition , McGraw–Hill Book Company, 1988, P.P. 409.

Colin J.F.P. Jones, **Earth Reinforcement and Soil Structures**, Butterworths Advanced Series in Geotechnical Engineering, 1985.

Manfred R. Hansmann, **Engineering Principle of Ground Modification**, McGraw-Hill Publishing Company, 1990.

Reinforced Earth (S.E.A.) PTE Ltd, **Reinforced Earth and Bridge Abutment**, 1996.

Reinforced Earth (S.E.A.) PTE Ltd, **Reinforced Earth and Retaining Walls**, 1996.

Timoshenko , S.P. and Gere , J.M., **Theory of Elastic Stability**, Second Edition , McGraw–Hill Book Company, 1986, P.P. 6-10 , P.P. 46-53 , P.P. 94 – 98.

T.S. lngold, **Reinforced Earth**, Thomas Telford Ltd, London, 1982.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การสำรวจระบบพิกัด โค้งแนวราบ โค้งแนวดิ่ง และงานระดับ

ก.1 การสำรวจระบบพิกัด

ในปัจจุบันนิยมใช้ระบบพิกัดในการสำรวจเพื่อการก่อสร้างทางแยกต่างระดับ (Interchange) สะพานข้ามทางแยก สะพานข้ามแม่น้ำ ทางลอด และอุโมงค์ เพราะมีความสะดวก รวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานโดยการนำคอมพิวเตอร์ และซอฟแวร์ทางวิศวกรรมสำรวจ มาใช้ทำงานร่วมกับเครื่องมือสำรวจที่เรียกว่า Total Station ซึ่งสามารถคำนวณค่าพิกัด (N, E) หรือค่าพิกัด และระดับ (X,Y,Z) ของจุดต่าง ๆ รวมทั้งสามารถตรวจสอบปรับแก้ค่าผิดพลาด จัดเก็บข้อมูลสำรวจต่าง ๆ ไว้ในหน่วยความจำ และนำมาใช้ภายหลังได้

ก.1.1 เครื่องมือสำรวจและวิธีการสำรวจในสนาม

การสำรวจระบบพิกัดระยะแรกเครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องวัดระยะทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Distance Measurement, EDM) ติดตั้งบนกล้องวัดมุมแบบ Optical Theodolite ต่อมามีการพัฒนากล้องวัดมุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Theodolite) รวมเข้ากับเครื่องวัดระยะทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นกล้องระบบ Total Station ซึ่งมีซอฟต์แวร์และฟังก์ชั่นต่าง ๆ สามารถคำนวณ ตรวจสอบ ปรับแก้ค่าผิดพลาด ประมวลผล และจัดเก็บข้อมูลสำรวจต่าง ๆ ไว้ในหน่วยความจำ (Electronics Field Book) ภายในตัวกล้อง และสามารถถ่ายโอนข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้งานอื่น ๆ ในลำดับต่อไป

รูปที่ ก.1 กล้อง Total Station รุ่นต่าง ๆ

(www.surveyinstru.com)

ก.1.2 ขั้นตอนการให้ตำแหน่งจุดต่างๆ ในสนาม (Layout of Point)

ก.1.2.1 วิธี Coordinates Stakeout หรือ Setting out

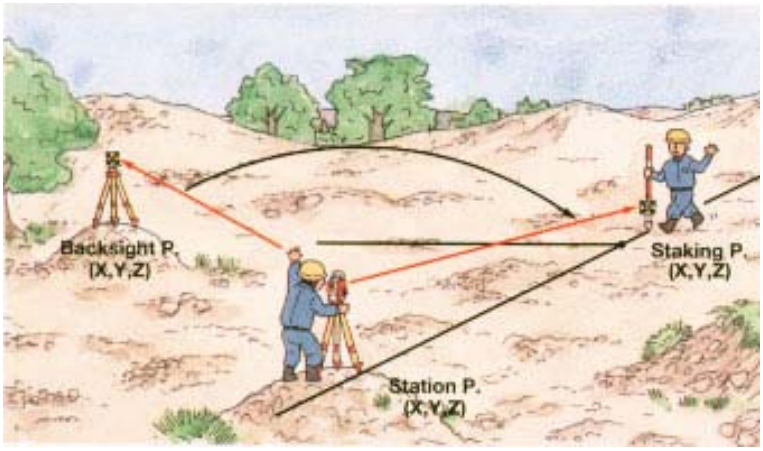
(1) ตั้งกล้องที่จุดทราบค่าพิกัดหรือจุดอ้างอิง (Reference Point) และป้อนค่าพิกัดของจุดตั้งกล้อง (Station Point)

(2) ตั้งเป้าปริซึม (Prism & Tripod) ที่จุดทราบค่าพิกัดหรือจุดอ้างอิง (Reference Point) หมุนกล้องส่องเป้าปริซึม และป้อนค่าพิกัดของจุด Backsight Point

(3) จากค่าพิกัดของจุดที่ต้องการ Layout (Staking Point) คำนวณหาค่ามุมราบระหว่าง Backsight Point กับ Staking Point และค่าระยะทางจากจุดตั้งกล้องกับจุด Staking Point

(4) หมุนกล้องเปิดมุมราบที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 3 ใช้ Pole & Prism ล่อเป้า และขยับตำแหน่งตามแนวเล็ง วัดระยะทางให้ได้ตามที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 3 แล้วตอกหมุดไว้

(5) ตั้งเป้าปริซึม (Prism & Tripod) ที่หมุด Staking Point เล็งแนวและวัดระยะทางอีกครั้ง แล้วขยับหมุดให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง



รูปที่ ก.2 การให้ตำแหน่งจุดต่าง ๆ ในสนามโดยวิธี Coordinates Stakeout

(www.surveyinstru.com)

ก.1.3 การหาค่าพิกัดของจุดต่าง ๆ ในสนาม

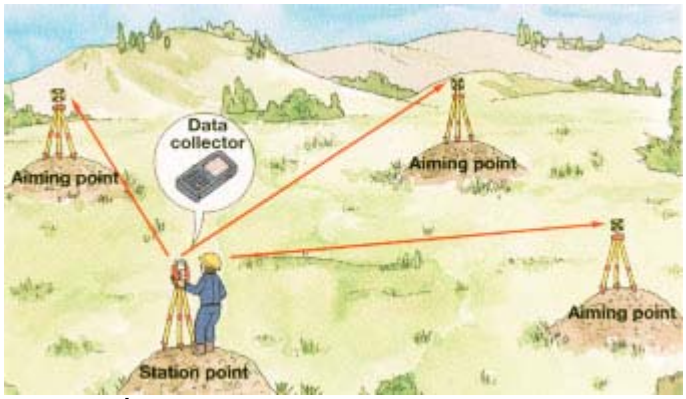
ก.1.3.1 วิธี Side Shot

(1) ตั้งกล้องที่จุดทราบค่าพิกัดหรือจุดอ้างอิง (Reference Point) และป้อนค่าพิกัดของจุดตั้งกล้อง (Station Point)

(2) ตั้งเป้าปริซึม (Prism & Tripod) ที่จุดทราบค่าพิกัดหรือจุดอ้างอิง (Reference Point) หมุนกล้องส่องเป้าปริซึม และป้อนค่าพิกัดของจุด Backsight Point

(3) ตั้งเป้าปริซึม (Prism & Tripod) ที่จุดต้องการหาค่าพิกัด

(4) หมุนกล้องส่องเป้าปริซึม บันทึกค่าพิกัดที่กล้องอ่านค่า และคำนวณได้

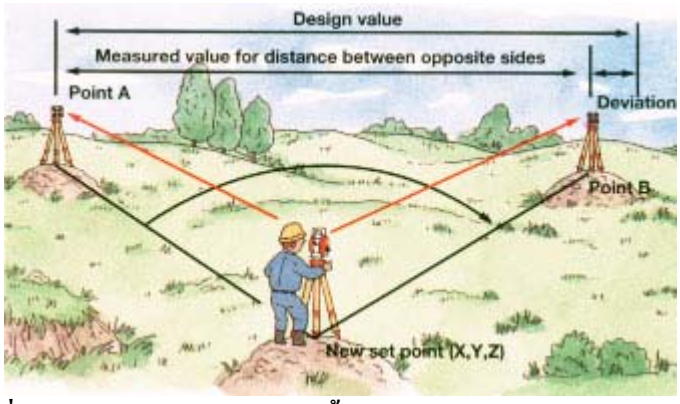


รูปที่ ก.3 การหาค่าพิกัดของจุดต่าง ๆ ในสนาม

(www.surveyinstru.com)

ก.1.3.2 วิธี Resection

เป็นการคำนวณค่าพิกัดของจุดตั้งกล้อง โดยใช้ข้อมูลค่าพิกัดของจุดที่ทราบค่าพิกัด เช่นจุดอ้างอิงต่างๆ อย่างน้อย 2 จุด เป็นจุดตั้งเป้าปริซึม (Prism & Tripod) มาคำนวณหาค่าพิกัดโดยวิธี Least Squares

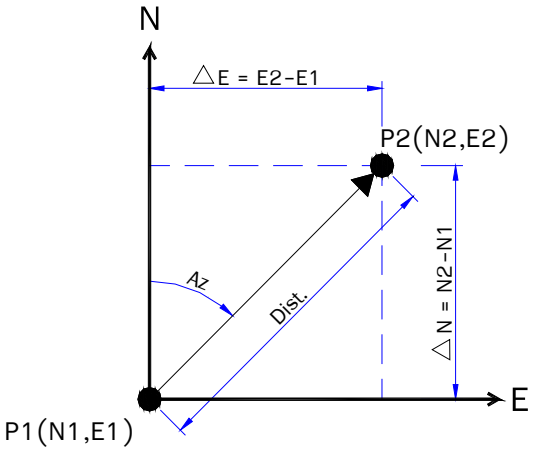


รูปที่ ก.4 การหาค่าพิกัดของจุดตั้งกล้อง โดยวิธี Resection

(www.surveyinstru.com)

ก.1.4 การคำนวณระบบพิกัด

ก.1.4.1 การหาค่าพิกัดของจุดที่ 2 โดยคำนวณจากพิกัดของจุดที่ 1 เมื่อทราบค่าระยะทาง (Distance) และมุม Azimuth (Az) จากจุดที่1 ไปยังจุดที่ 2 ดังรูปที่ ก.5



รูปที่ ก.5 การคำนวณระบบพิกัด

จากรูปที่ ก.5 ให้จุด P1 มีค่าพิกัดเป็น N1, E1 เมื่อทราบค่าระยะทาง (Dist) และมุม Azimuth (Az) จากจุด P1 ไปยังจุด P2 สามารถคำนวณหาค่าพิกัดของจุด P2 ได้ดังนี้

$$N2 = N1 + \Delta N$$

$$\Delta N = Dist \times Cos(Az)$$

$$\therefore \quad N2 = N1 + Dist.x\ Cos(Az) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(ก.1)}$$

$$E2 = E1 + \Delta E$$

$$\Delta E = Dist \times Sin(Az)$$

$$\therefore \quad E2 = E1 + Dist \times Sin(Az) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(ก.2)}$$

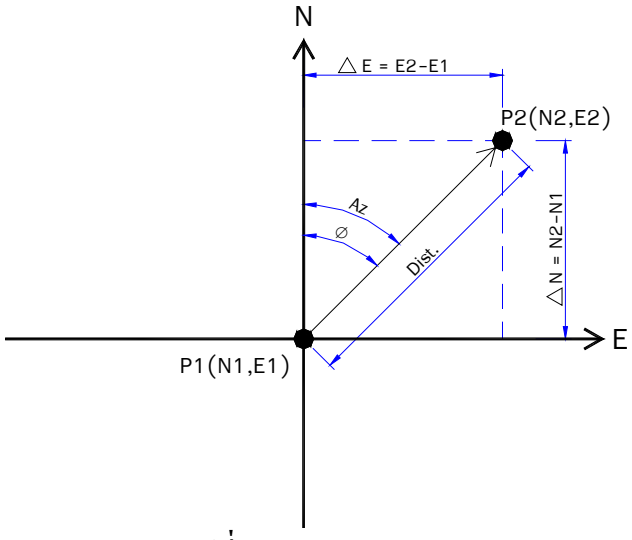
ก.1.4.2 การหาค่าระยะทาง Distance และมุม Azimuth (Az) จากจุดที่1 ไปยังจุดที่ 2 เมื่อทราบค่าพิกัดของจุดที่ 1 และ จุดที่ 2

$$\Delta N = N2 - N1$$

$$\Delta E = E2 - E1$$

$$Dist. = \sqrt{(\Delta N)^2 + (\Delta E)^2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(ก.3)}$$

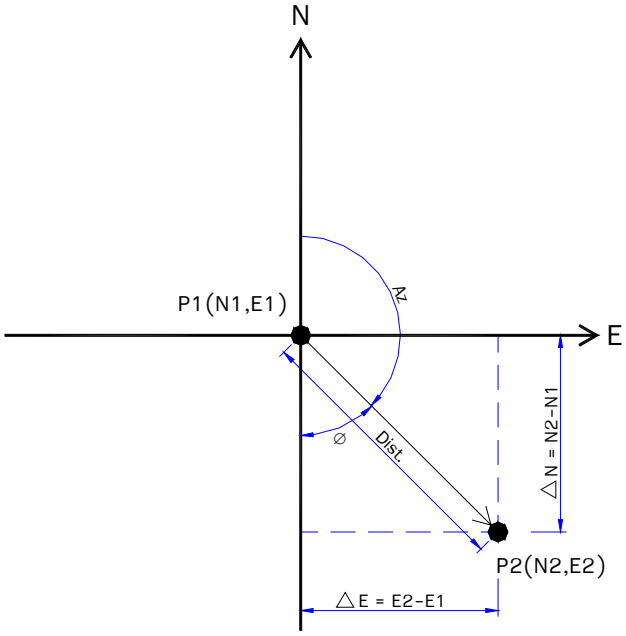
$$\phi = Tan^{-1}\left(\frac{|\Delta E|}{|\Delta N|}\right) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(ก.4)}$$



รูปที่ ก.6 Quadrant 1

จากรูปที่ ก.6 กรณี ΔN เป็น + และ ΔE เป็น + มุม ϕ อยู่ใน Quadrant 1

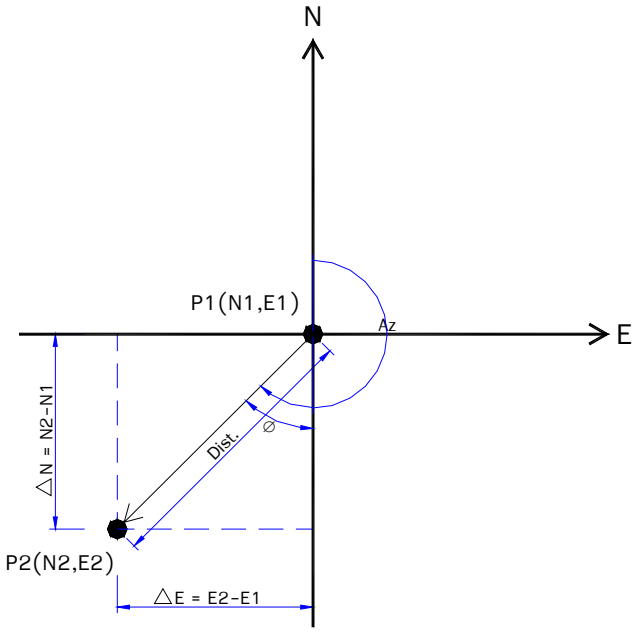
Azimuth (Az) = ϕ ..... (ก.5)



รูปที่ ก.7 Quadrant 2

จากรูปที่ ก.7 กรณี ΔN เป็น – และ ΔE เป็น + มุม ϕ อยู่ใน Quadrant 2

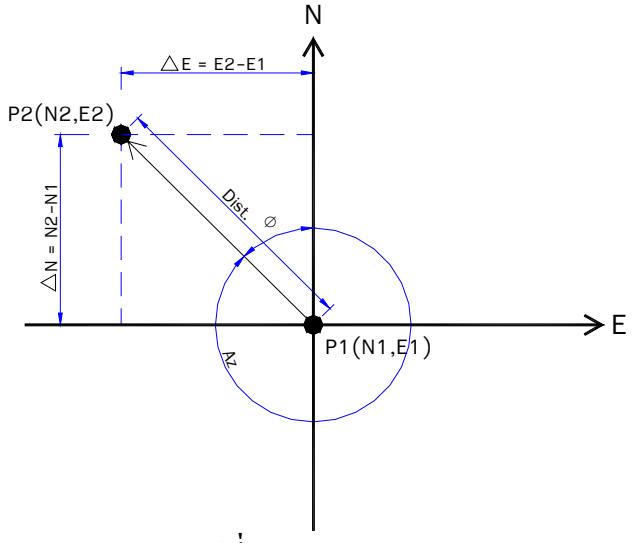
Azimuth (Az) = 180^0 - ϕ ..... (ก.6)



รูปที่ ก.8 Quadrant 3

จากรูปที่ ก.8 กรณี ΔN เป็น – และ ΔE เป็น - มุม ϕ อยู่ใน Quadrant 3

Azimuth (Az) = $180^0 + \phi$ ..... (ก.7)

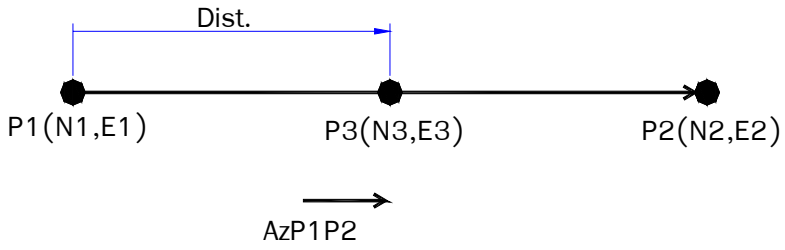


รูปที่ ก.9 Quadrant 4

จากรูปที่ ก.9 กรณี ΔN เป็น + และ ΔE เป็น – มุม ϕ อยู่ใน Quadrant 4

Azimuth (Az) = $360^0 - \phi$ ..... (ก.8)

ก.1.4.3 การคำนวณหาพิกัดของจุดที่ 3 และมุม Azimuth ของแนว Alignment เมื่อทราบค่าพิกัดของจุดที่ 1 และ จุดที่ 2



รูปที่ ก.10 การคำนวณพิกัดในแนวเส้นตรง

$$\Delta N = N2-N1$$

$$\Delta E = E2-E1$$

$$\phi = Tan^{-1}\left(\frac{|\Delta E|}{|\Delta N|}\right)$$

กรณี ΔN เป็น + และ ΔE เป็น + (Quadrant 1) AzP1P2 = ϕ ..... (ก.9)

กรณี ΔN เป็น - และ ΔE เป็น + (Quadrant 2) AzP1P2 = $180^{o} - \phi$ ..... (ก.10)

กรณี ΔN เป็น - และ ΔE เป็น - (Quadrant 3) AzP1P2 = $180^{o} + \phi$ .....(ก.11)

กรณี ΔN เป็น + และ ΔE เป็น - (Quadrant 4) AzP1P2 = $360^{o} - \phi$ .....(ก.12)

$$N3 = N1 + Dist \times Cos(AzP1P2) \quad \text{.....} \quad (ก.13)$$

$$E3 = E1 + Dist \times Sin(AzP1P2) \quad \text{.....} \quad (ก.14)$$

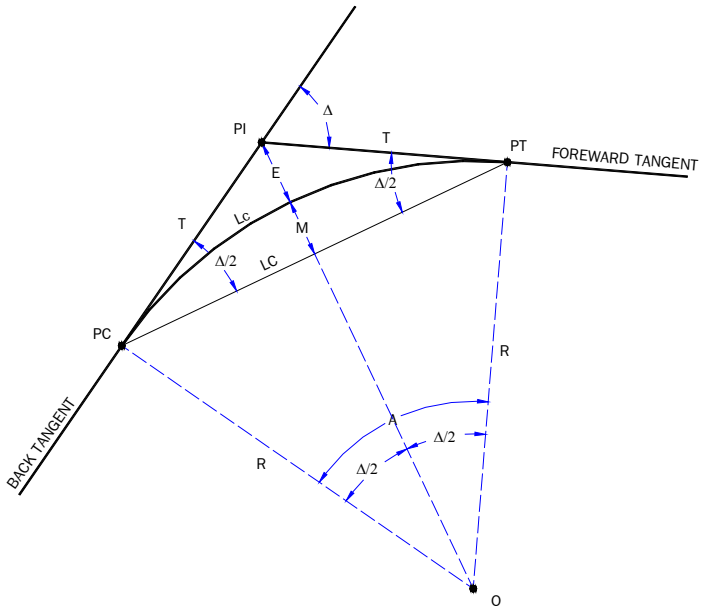
ก.2 โค้งแนวราบ (Horizontal Alignment)

การวางแนวถนนในแนวราบ เป็นการวางแนวโค้งเพื่อเชื่อมระหว่างการเคลื่อนที่ในทิศทางตรง 2 ทิศทาง เพื่อให้ยานพาหนะสามารถเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ภายในอัตราเร็วที่ใช้ในการออกแบบได้อย่างปลอดภัย โดยลักษณะของโค้งในแนวราบจะเป็นส่วนหนึ่งของเส้นรอบวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางวงกลม ซึ่งโค้งในแนวราบมีหลายลักษณะด้วยกัน ดังนี้

- โค้งวงกลม (Simple Circular Curve) คือโค้งในแนวราบที่เชื่อมต่อระหว่างแนวเส้นตรง 2 แนว โดยมีค่ารัศมีของโค้งคงที่
- โค้งก้นหอย (Spiral Curve) หรือ โค้งปรับช่วง (Transition Spiral Curve) คือ โค้งในแนวราบที่อยู่ระหว่างแนวตรงและแนวโค้งวงกลมของถนน หน้าที่ของโค้งปรับช่วง คือ ปรับแนวถนนจากทิศทางตรงสู่ทิศทางโค้ง เพื่อเพิ่มความนิ่มนวลในการขับขี่ก่อนที่จะเคลื่อนที่เข้าสู่โค้งวงกลม
- โค้งผสม (Compound Curve) คือ โค้งวงกลมในแนวราบที่อยู่ติดกัน แต่มีค่ารัศมีที่แตกต่างกัน การออกแบบโค้งแบบผสมนี้ถือว่าเป็นการออกแบบที่ไม่เหมาะสม แต่ถ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ก็ควรออกแบบให้รัศมีความโค้งของโค้งวงกลมทั้งสองต่างกันไม่เกิน 50 %
- โค้งดีดกลับ (Reverse Curve) เป็นโค้งที่มีลักษณะเดียวกันกับโค้งผสม เพียงแต่ทิศทางของโค้งทั้งสองที่อยู่ติดกันจะมีทิศทางตรงกันข้าม
- โค้งหลังหัก (Broken Back Curve) เป็นโค้งที่มีลักษณะเดียวกันกับโค้งผสม เพียงแต่จะมีระยะทางตรงสั้นๆ เป็นตัวเชื่อมระหว่างโค้งวงกลมทั้งสอง ซึ่งโค้งในลักษณะนี้อาจจะไม่ได้ช่วยให้มีการขับขี่ที่ดีนัก ถ้าหากระยะทางตรงที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างโค้งวงกลมทั้งสองนั้นสั้นเกินไป

ในเอกสารนี้จะกล่าวถึงเฉพาะโค้งวงกลมและโค้งก้นหอยเท่านั้น

ก.2.1 โค้งวงกลม (Simple Circular Curve)



รูปที่ ก.11 โค้งวงกลม

สัญลักษณ์ต่าง ๆ

PC = Point of Curve

PI = Point of Intersection

PT = Point of Tangency

T = Tangent Distance

E = External Distance

M = Middle Ordinate

R = Radius of Curve

O = Center point of Curve

Δ = Angle of Intersection

D = Degree of Curve

Lc = Length of Curve

LC = Length of Chord

L = Arc Length ระหว่างจุดใดๆ บนโค้ง

ϕ = มุมที่ Center Point of Curve ที่มีความยาวโค้ง L

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$T = R \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad \ldots \text{(ก.15)}$$

$$E = R\left[\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right)-1\right] = T \tan\left(\frac{\Delta}{4}\right) \quad \ldots \text{(ก.16)}$$

$$M = R\left[1-\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right] = R \operatorname{vers}\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad \ldots \text{(ก.17)}$$

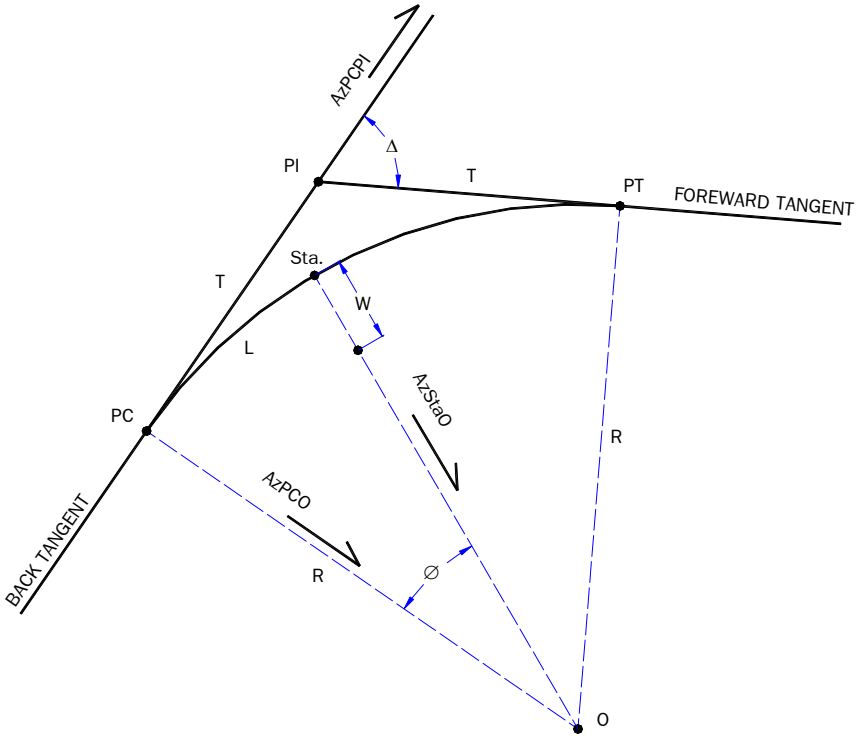
$$R = \frac{5729.57795}{D} \text{ (Arc definition)} \quad \ldots \text{(ก.18)}$$

$$Lc = 100\left(\frac{\Delta}{D}\right) \quad \ldots \text{(ก.19)}$$

$$LC = 2R \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad \ldots \text{(ก.20)}$$

$$\text{PC sta.} = \text{PI sta.} - T \quad \ldots \text{(ก.21)}$$

$$\text{PT sta.} = \text{PC sta.} + Lc \quad \ldots \text{(ก.22)}$$



รูปที่ ก.12 การคำนวณพิกัดโค้งวงกลม

ก.2.1.1 หาพิกัดของจุด PC

คำนวณจาก
- พิกัดของ PI
- มุม Azimuth ของแนว PC $\rightarrow$ PI (Az PCPI)
- ระยะ -T

ก.2.1.2 หาพิกัดของจุด O

คำนวณจาก
- พิกัดของ PC
- มุม Azimuth ของแนว PC $\rightarrow$ O (Az PCO)

Az PCO = Az PCPI + 90^0 กรณี โค้งเลี้ยวขวา

= Az PCPI - 90^0 กรณี โค้งเลี้ยวซ้าย

- ระยะ R

ก.2.1.3 หาพิกัดของ Sta. ใด ๆ

คำนวณจาก
- พิกัดของ O
- มุม Azimuth ของแนว Sta. $\rightarrow$ O (Az Sta 0)

Az Sta O = Az PCO + ϕ กรณี โค้งเลี้ยวขวา

= Az PCO – ϕ กรณี โค้งเลี้ยวซ้าย

$$\phi = \frac{DL}{100}$$

L = Sta. ใด ๆ – PC Sta.

- ระยะ –R

ก.2.1.4 หาพิกัดที่จุด Offset ของ Sta. ใด ๆ (ระยะ Offset W)

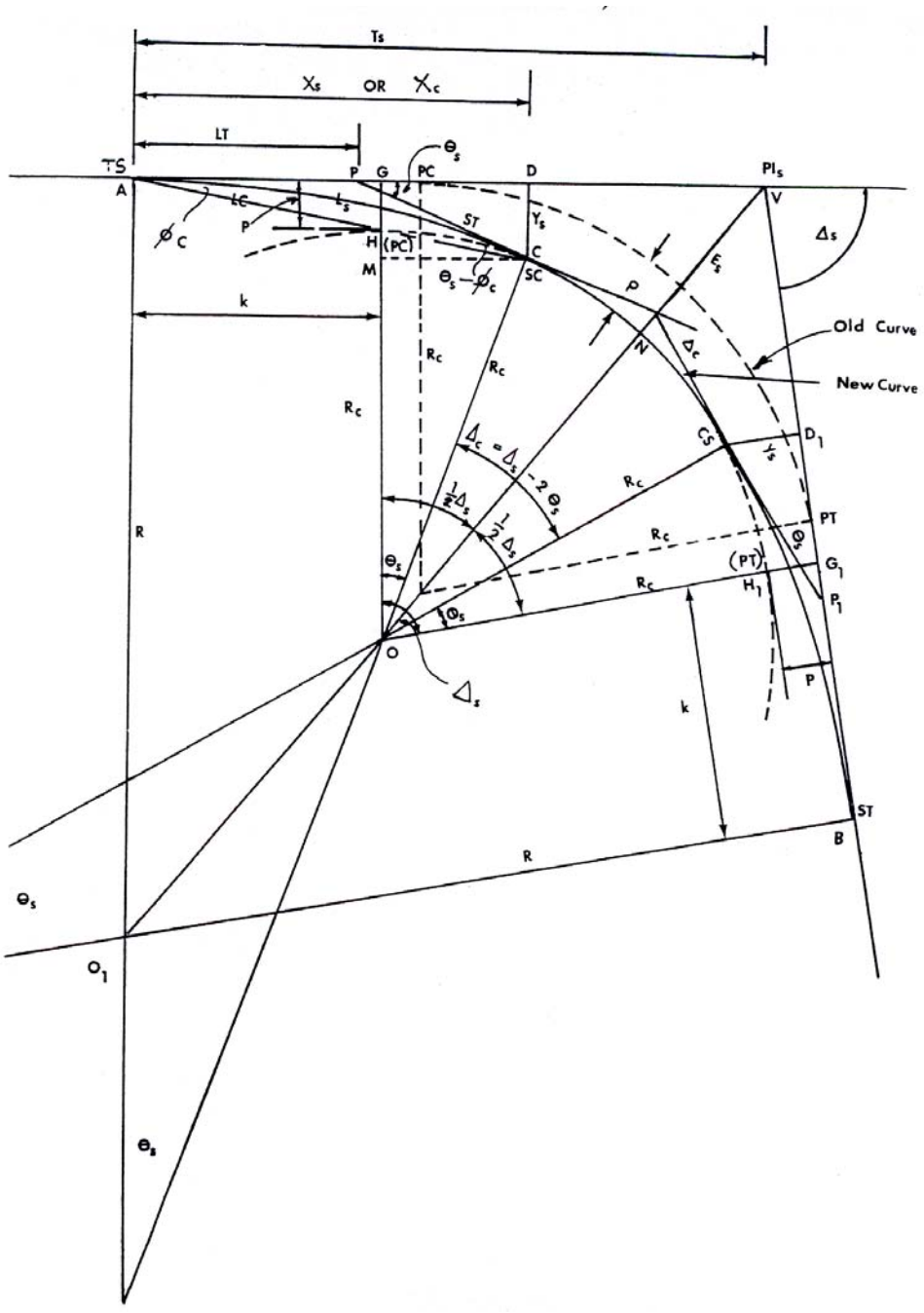
คำนวณจาก
- พิกัดของ O
- มุม Azimuth ของแนว Sta. $\rightarrow$ O (Az Sta O)
- ระยะ = -(R-W) กรณี Offset ด้านในโค้ง

= -(R+W) กรณี Offset ด้านนอกโค้ง

ก.2.2 โค้งก้นหอย (Spiral Curve)

โค้งก้นหอยนิยมใช้เป็นโค้งแนวนอนสำหรับทางหลวง ออกแบบไว้สำหรับความเร็วสูง เพราะโค้งชนิดนี้ค่อย ๆ เปลี่ยนความโค้งจากแนวเส้นตรงจนเป็นทางโค้งของโค้งวงกลม ทำให้การบังคับเลี้ยวเป็นไปได้ง่ายกว่าการใช้โค้งวงกลมต่อเชื่อมกับทางตรง เพราะแรงหนีศูนย์กลางค่อยๆ เพิ่มทำให้ผู้ขับขี่ปรับตัวได้ง่าย โค้งก้นหอยมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น Clothoid Cubic Parabola Lemniscate เป็นต้น ในเอกสารนี้จะได้กล่าวถึงโค้งก้นหอย Clothoid เท่านั้น

โค้งก้นหอยแบบสมมาตร (Symmetrical Spiral Curve) $L_{S1} = L_{S2}$



รูปที่ ก.13 โค้งก้นหอย แบบสมมาตร

สัญลักษณ์ต่าง ๆ

TS = จุดเปลี่ยนจากเส้นตรงเป็นโค้งก้นหอย (Tangent to Spiral)

SC = จุดเปลี่ยนจากโค้งก้นหอยเป็นโค้งวงกลม (Spiral to Circular Curve)

CS = จุดเปลี่ยนจากโค้งวงกลมเป็นโค้งก้นหอย (Circular Curve to Spiral)

ST = จุดเปลี่ยนจากโค้งก้นหอยเป็นเส้นตรง (Spiral to Tangent)

L = ความยาวส่วนโค้งก้นหอยจากจุด TS ถึง จุดใด ๆ บนโค้งก้นหอย

L_{S1} = ความยาวส่วนโค้งก้นหอยจากจุด TS ถึง จุด SC

L_{S2} = ความยาวส่วนโค้งก้นหอยจากจุด CS ถึง จุด ST

θ = มุมที่จุดศูนย์กลาง (Central Angle)ของโค้งก้นหอยซึ่งรองรับด้วยส่วนโค้งยาว L

θ_{S1} = มุมที่จุดศูนย์กลาง (Central Angle) ของโค้งก้นหอยซึ่งรองรับด้วยส่วนโค้งยาว L_{S1} หรือมุมสไปรอล (Spiral Angle)

θ_{S2} = มุมที่จุดศูนย์กลาง (Central Angle) ของโค้งก้นหอยซึ่งรองรับด้วยส่วนโค้งยาว L_{S2} หรือมุมสไปรอล (Spiral Angle)

ϕ = มุมหักเห (Deflection Angle) ของโค้งก้นหอยจากจุด TS ของเส้นสัมผัสเส้นแรกไปยังจุด L

ϕ_C = มุมหักเห (Deflection Angle) ของโค้งก้นหอยจากจุด TS ของเส้นสัมผัสเส้นแรกไปยังจุด SC

D = Degree of Spiral Curve ของโค้งก้นหอยที่จุด L

D_C = Degree of Curve ของโค้งวงกลม

R = Radius of Spiral Curve ของโค้งก้นหอยที่จุด L

R_C = Radius of Circular Curve

Y = ระยะ Offset จาก Tangent ไปยังจุด L

Y_{S1} = ระยะ Offset จาก Tangent ไปยังจุด SC

Y_{S2} = ระยะ Offset จาก Tangent ไปยังจุด CS

X = ระยะจากจุด TS ไปยังจุด Offset ของระยะ Y

X_{S1} = ระยะจากจุด TS ไปยังจุด Offset ของระยะ Y_{S1}

X_{S2} = ระยะจากจุด TS ไปยังจุด Offset ของระยะ Y_{S2}

P = ระยะ Offset จาก Tangent ไปยังจุด PC ของ New Curve

k_1 = ระยะจากจุด TS ไปยัง PC ของ New Curve

k_2 = ระยะจากจุด ST ไปยัง PC ของ New Curve

T_{S1} = ความยาวของ Tangent Line จาก TS ถึง PI_S

T_{S2} = ความยาวของ Tangent Line จาก PI_S ถึง ST

E_S = External Distance

Δ_S = Intersection Angle ของ Spiral Curve

Δ_C = มุมที่จุดศูนย์กลาง (Central Angle) ของโค้งวงกลมซึ่งรองรับด้วยส่วนโค้ง LC จากจุด SC ถึงจุด CS

LC = Length of Chord ของ L ใด ๆ บนโค้งก้นหอย

L.T. = Long Tangent

S.T. = Short Tangent

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\theta_S = \frac{L_S}{2R_C} \quad \text{(Radian)} \qquad \ldots \text{(ก.23)}$$

$$\theta = \left(\frac{L}{L_S}\right)^2 \theta_S \quad \text{(Radian)} \qquad \ldots \text{(ก.24)}$$

$$Y = L\left[\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{42} + \frac{\theta^5}{1{,}320} - \frac{\theta^7}{75{,}600} + \frac{\theta^9}{6{,}894{,}720}\right] \qquad \ldots \text{(ก.25)}$$

$$X = L\left[1 - \frac{\theta^2}{10} + \frac{\theta^4}{216} - \frac{\theta^6}{9{,}360} + \frac{\theta^8}{685{,}440}\right] \qquad \ldots \text{(ก.26)}$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right) \qquad \ldots \text{(ก.27)}$$

$$T_S = k + (R_C + P)\tan\left(\frac{\Delta_S}{2}\right) \qquad \ldots \text{(ก.28)}$$

$$k = X_S - R_C \sin(\theta_S) \qquad \ldots \text{(ก.29)}$$

$$p = Y_S - R_C[1 - \cos(\theta_S)] \qquad \ldots \text{(ก.30)}$$

$$L.T. = X_S - \frac{Y_S}{\tan(\theta_S)} \qquad \ldots \text{(ก.31)}$$

$$S.T. = \frac{Y_S}{\sin(\theta_S)} \qquad \ldots \text{(ก.32)}$$

$$\Delta_C = \Delta_S - 2\theta_S \qquad \ldots \text{(ก.33)}$$

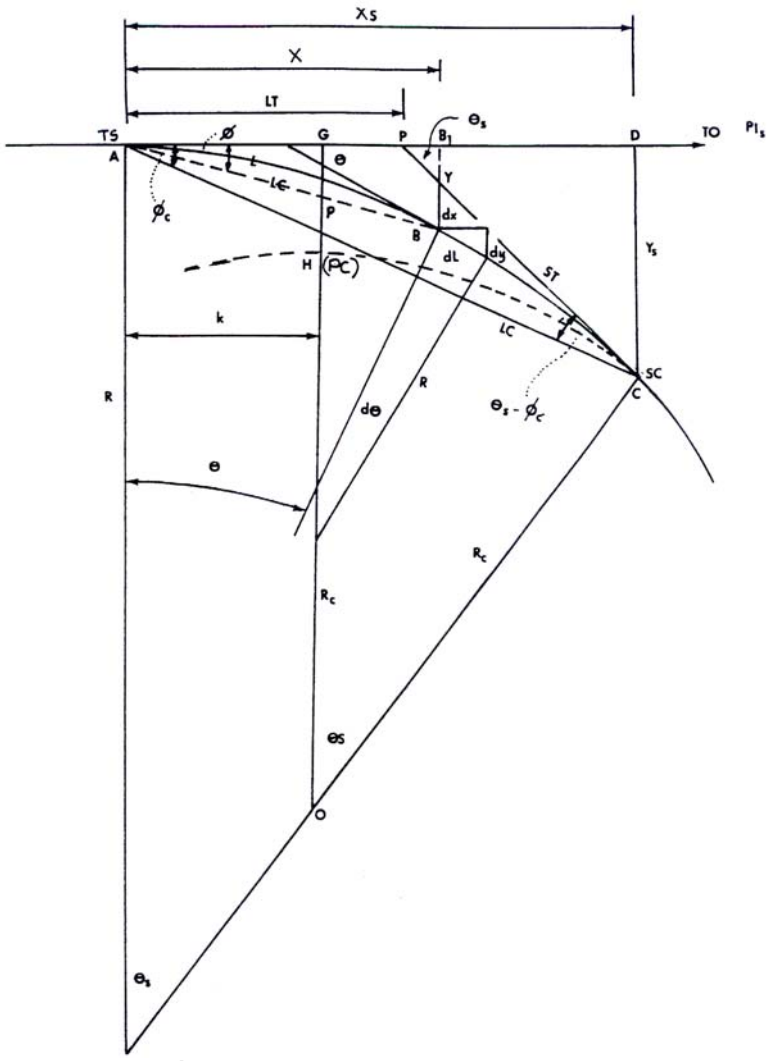
$$Lc = 100\left(\frac{\Delta_C}{D_C}\right) = \frac{\Delta_C R_C \pi}{180} \qquad \ldots \text{(ก.34)}$$

TS Sta. = PI Sta. - T_S … (ก.35)

SC Sta .= TS Sta. + L_{S1} … (ก.36)

CS Sta. = SC Sta. + L_C … (ก.37)

ST Sta. = CS Sta. + L_{S2} … (ก.38)



รูปที่ ก.14 การคำนวณพิกัดโค้งก้นหอย

ในการคำนวณหาพิกัดโค้งก้นหอยที่กำหนดค่า L_{S1}, L_{S2}, R_c หรือ D_C และ Δ_S ให้ สามารถหาพิกัดของจุดต่าง ๆ ได้ ดังนี้

ก.2.2.1 หาพิกัดของจุด TS

คำนวณจาก
- พิกัดของ PI
- มุม Azimuth ของแนว TS → PI (Az TSPI)
- ระยะ -T_S

ก.2.2.2 หาพิกัดของจุด Sta.ใด ๆ ใน Spiral Curve ในช่วง TS $\rightarrow$ SC

คำนวณจาก
- หา L (= Sta.ใด ๆ - TS Sta.) , θ, X. Y, ϕ , L.C.
- พิกัดของ TS
- มุม Azimuth ของแนว TS $\rightarrow$ Sta. (Az TSSta)

Az TSSta = Az TSSta + ϕ กรณี โค้งเลี้ยวขวา

= Az TSSta - ϕ กรณี โค้งเลี้ยวซ้าย

- ระยะ L.C.

ก.2.2.3 หาพิกัดของจุด Sta.ใดๆ ในช่วงโค้ง Simple Curve คำนวณเหมือนโค้งวงกลม (Simple Curve) โดย SC = PC และ CS = PT

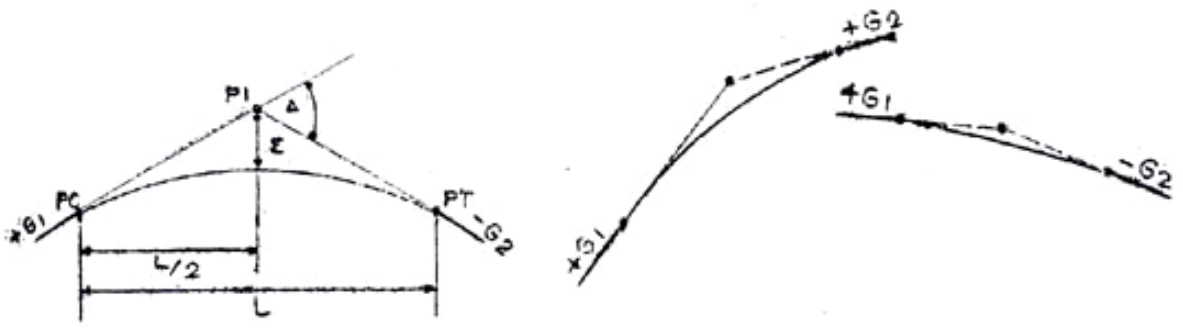
ก.2.2.4 หาพิกัดของจุด Sta.ใด ๆ ใน Spiral Curve ในช่วง ST $\rightarrow$ CS คำนวณเหมือนในช่วง TS $\rightarrow$ SC โดย L = ST Sta. – Sta.ใด ๆ

ก.3 โค้งแนวดิ่ง (Vertical Alignment)

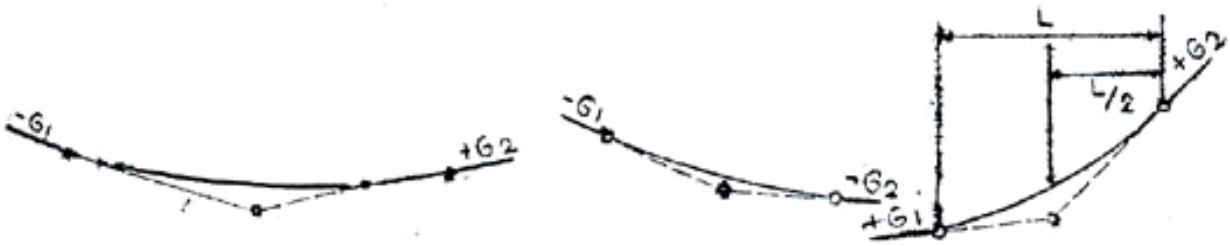
การวางโค้งในแนวดิ่ง หมายถึง การวางแนวโค้งเชื่อมความชัน 2 ค่า โดยลักษณะของโค้งที่เชื่อมความชันทั้ง 2 ค่านั้น ต้องมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชันจากความชันเริ่มต้น (Initial Slope) จนถึงความชันสุดท้าย (Terminal Slope) อย่างคงที่ และในกรณีที่ความชันเริ่มต้นและความชันสุดท้ายมีค่าต่างกันไม่เกิน 0.5 % ไม่จำเป็นต้องวางโค้งในแนวดิ่ง แต่สามารถวางแนวถนนในแนวราบได้เลย

โค้งในแนวดิ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

- โค้งทางดิ่งคว่ำ (Crest Vertical Curve) หมายถึง โค้งในแนวดิ่งที่มีความชันเริ่มต้นมากว่าความชันสุดท้าย ($G_1 > G_2$)
- โค้งทางดิ่งหงาย (Sag Vertical Curve) หมายถึง โค้งในแนวดิ่งที่มีความชันสุดท้ายมากกว่าความชันเริ่มต้น ($G_2 > G_1$)



รูปที่ ก.15 โค้งทางดิ่งคว่ำ (Crest Vertical Curve)

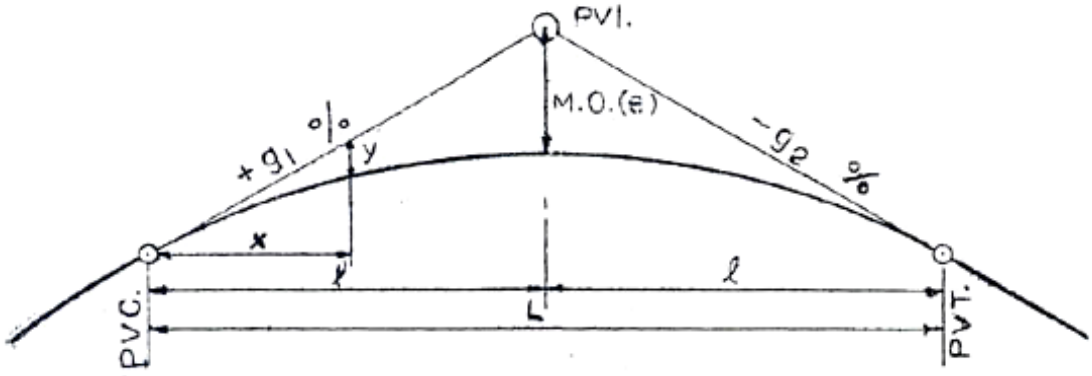


รูปที่ ก.16 โค้งทางดิ่งหงาย (Sag Vertical Curve)

และในแต่ละลักษณะ จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- โค้งสมมาตร (Symmetrical Curve) คือโค้งที่มีความยาวแต่ละข้างของจุดตัดโค้งดิ่งยาวเท่ากัน
- โค้งไม่สมมาตร (Unsymmetrical Curve) คือโค้งที่มีความยาวแต่ละข้างของจุดตัดโค้งดิ่งยาวไม่เท่ากัน ปกติจะยอมให้ความยาวโค้งแต่ละข้างยาวต่างกันไม่เกิน 2 เท่า

ก.3.1 โค้งสมมาตร (Symmetrical Curve)



รูปที่ ก.17 โค้งสมมาตร (Symmetrical Curve)

$$y = (x/l)^2 .e \quad \ldots \text{(ก.39)}$$

$$e = AL/800 \quad \ldots \text{(ก.40)}$$

เมื่อ e = ระยะห่างของโค้งจากจุดตัดโค้งมายังจุดยอดโค้ง

A = ผลรวมทางพีชคณิตของลาดชัน (Algebraic Difference Grade)

= $G_2 - G_1$ เมื่อ G_1, G_2 = เปอร์เซ็นต์ความลาดชัน โดยขึ้นลาดมีเครื่องหมาย (+) ลงลาดมีเครื่องหมาย (-)

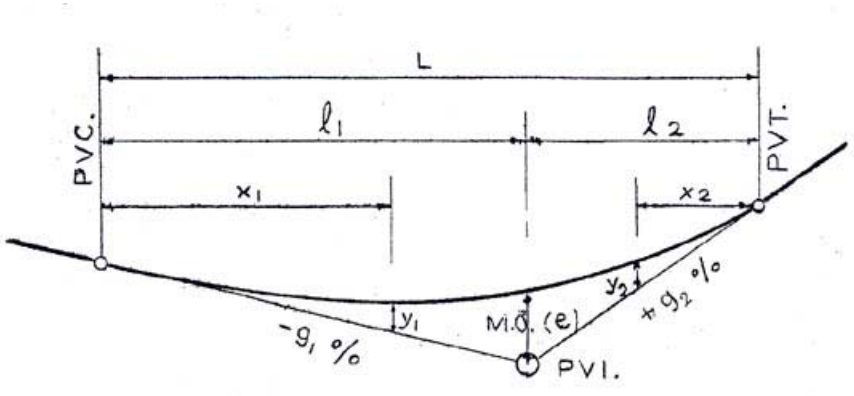
L = ความยาวของโค้งวัดไปตามทางราบทั้งหมด

l = ความยาวของโค้งวัดไปตามทางราบจงถึงจุดกึ่งกลางโค้ง หรือ PVI

y = ระยะห่างจากจุดต่างๆบนลาดมายังโค้ง

x = ระยะห่างจากจุดต้นโค้งหรือปลายโค้งมายังจุดต่างๆ

ก.3.2 โค้งไม่สมมาตร (Unsymmetrical Curve)



รูปที่ ก.18 โค้งไม่สมมาตร (Unsymmetrical Curve)

$$y_1 = (x_1 / l_1)^2 . e \quad \ldots \text{(ก.41)}$$

$$y_2 = (x_2 / l_2) . e \quad \ldots \text{(ก.42)}$$

$$e = A l_1 l_2 / 200 L \quad \ldots \text{(ก.43)}$$

เมื่อ e = ระยะห่างของโค้งจากจุดตัดโค้งมายังจุดยอดโค้ง

A = ผลรวมทางพีชคณิตของลาดชัน (Algebraic Difference Grade)

= $G_2 - G_1$ เมื่อ G_1, G_2 = เปอร์เซ็นต์ความลาดชัน โดยขึ้นลาดมีเครื่องหมาย (+) ลงลาดมีเครื่องหมาย (-)

L = ความยาวของโค้งวัดไปตามทางราบทั้งหมด (รูปที่ ก.18)

l_1, l_2 = ความยาวของโค้งตามทางราบจากปลายแต่ละด้านถึง PVI (รูปที่ ก.18)

y_1, y_2 = ระยะห่างจากจุดต่างๆบนลาดมายังโค้งของลาดแต่ละด้าน (รูปที่ ก.18)

x_1, x_2 = ระยะห่างจากจุดต้นโค้งหรือปลายโค้งมายังจุดต่างๆบนปลายแต่ละด้าน (รูปที่ ก.18)

ตัวอย่างการคำนวณค่าระดับบนโค้งดิ่ง

การคำนวณหาค่าระดับบนโค้งทางดิ่ง ชนิดหงาย (Sag Vertical Curve) กรณีทางเลี่ยงเมืองแม่ฮ่องสอน

วิธีทำ PVC. STA. = 9+625.000 ค่า ELEV. = 233.190

PVI. STA. = 9+750.000 ค่า ELEV. = 222.000

PVT.STA. = 9+875.000 ค่า ELEV. = 218.875

ค่า g_1 = -8.952 % ค่า g_2 = -2.500%

ค่า V.C. = L = PVT. STA. - PVC.STA.

= (9+875.000)-(9+625.000) = 250 เมตร

สูตรหาค่า e หรือ M.O. = AL/800

A $= g_2 - g_1$ = (-2.500) – (-8.952) = -2.500+8.952

= + 6.452 %

ฉะนั้น ค่า e หรือ M.O. = 6.452 x 250 / 800 = +2.016

วิธีหาค่าระดับบนโค้งทางดิ่งที่จุดใดๆหรือที่ระยะ x (วัดจากจุด PVC. STA.)
จะหาได้จากค่าความสูง y (วัดจากเส้นความลาดชันที่ผ่านจุด PVC. STA)

(1) ในกรณีที่ต้องการหาค่าระดับบนโค้งทางดิ่งที่ STA. 9+663 (ตอม่อริมตับที่ 1)

ค่า x = (9+663) – (9+625) = 38.00 เมตร

จากสูตร $y = (x/l)^2 . e$

ค่า 1 = PVI. STA. – PVC.STA. = (9+750) - (9+625) = 125 เมตร

y = $(38/125)^2$ x (2.016) = 0.186 (ค่าเป็นบวก)

STA. 9+663 อยู่ในช่วงความลาดชัน g_1

ค่าระดับบนความลาดชัน g_1 (-8.952 %) ที่ระยะ x = 38.00 เมตรคือ (233.190)-((38 x 8.952)/100)
= 229.788

∴ ฉะนั้นค่าระดับบนโค้งทางดิ่งที่ STA. 9+663 คือ 229.788 + 0.186 = 229.974

(2) ในกรณีที่ต้องการหาค่าระดับบนโค้งทางดิ่ง ที่ STA. 9+791 (ตอม่อริมตับที่ 7)

ค่า x = (9+791) – (9+625) = 166 เมตร

y = $(166/125)^2$ x (2.016) = 3.555 (ค่าเป็นบวก)

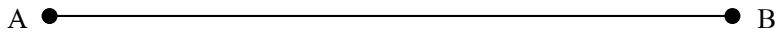
ฉะนั้นค่า ELEV. บนเส้นความลาด g 1 ที่ STA. 9+791 คือ (233.190) – ((166 x 8.952)/100)

= 218.885

∴ ฉะนั้นค่าระดับบนโค้งทางดิ่งที่ STA. 9+791 คือ 218.330 + 3.555 = 221.885

หมายเหตุ:

- ในกรณีที่โค้งทางดิ่งเป็นชนิดคว่ำ (Crest Vertical Curve) ให้คำนวณแบบเดียวกัน แต่ค่า y ที่คำนวณได้จะเป็นค่าติด**ลบ (-)**
- วิธีสังเกตว่า g_1 และ g_2 เป็นค่า **บวก (+)** หรือ **ลบ (-)** คือ ให้ดูว่าเส้นที่เชื่อมจุด 2 จุด เช่น จุด A และจุด B จะมีค่าความลาดชันระหว่างจุด A และ จุด B = g %



ถ้าจุด A สูงกว่าจุด B ค่าความลาดชันของเส้น AB จะเท่ากับ -g%

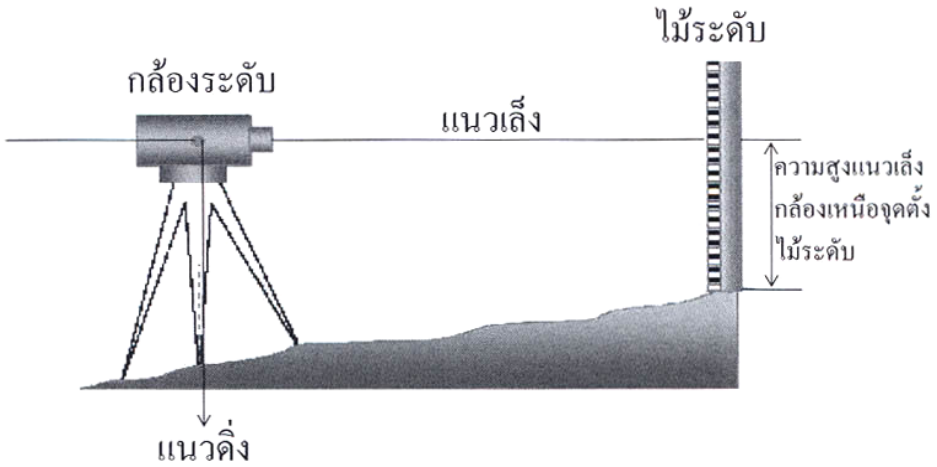
ถ้าจุด A ต่ำกว่าจุด B ค่าความลาดชันของเส้น AB จะเท่ากับ +g%

(ดูรูปที่ ก.15 และ ก.16 ประกอบ)

ก.4 งานระดับ (Leveling)

ก.4.1 กล้องระดับ

กล้องระดับ คือ เครื่องมือที่ใช้ในการอ่านค่าความสูงของแนวเล็งกล้องจากไม้ระดับเหนือพื้นผิวที่ไม้ระดับตั้งอยู่ ดังนั้น เมื่อกล้องระดับติดตั้งให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานแล้ว แกนดิ่งของแนวกล้องระดับจะอยู่ในแนวดิ่ง และแนวเล็งของกล้อง ซึ่งตั้งฉากกับแกนดิ่งจะอยู่ในแนวราบหรือแนวระดับ (รูป ก.19)

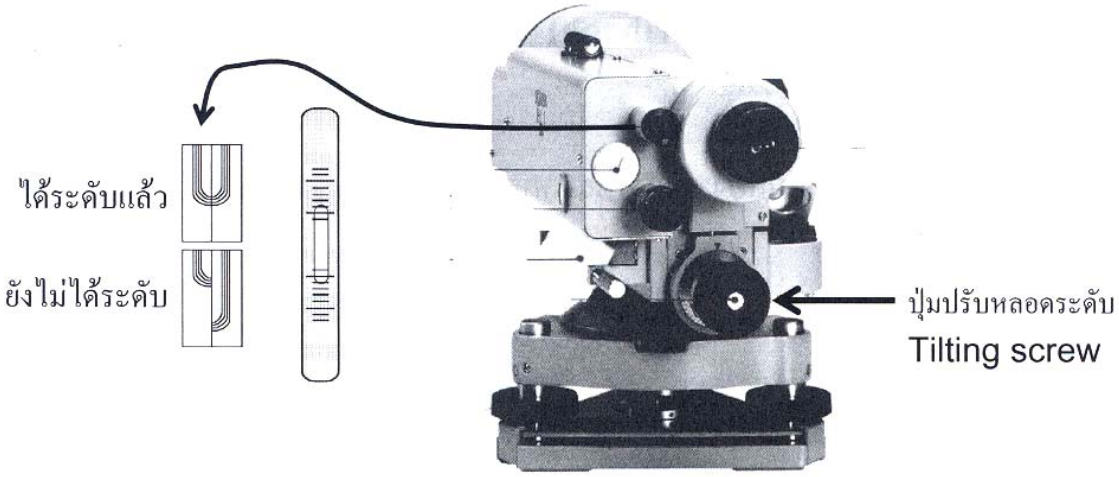


รูปที่ ก.19 นิยามกล้องระดับ

ก.4.2 การปรับระดับกล้อง

ก.4.2.1 กรณีกล้องระดับธรรมดา

สำหรับกล้องระดับธรรมดา คือกล้องระดับที่ใช้หลอดระดับยาวในการปรับระดับกล้อง หลังจากที่ได้ทำการตั้งระดับกล้องด้วยลูกน้ำฟองกลมแล้ว การใช้หลอดระดับยาวซึ่งจะมีช่องมองเห็นเป็นลักษณะปลายสองข้างของหลอดระดับชนกัน (รูปที่ ก.20) ให้ทำการปรับทุกครั้ง ก่อนการอ่านค่าไม้ระดับด้วยสกรูหลอดระดับ (Tilting Screw)

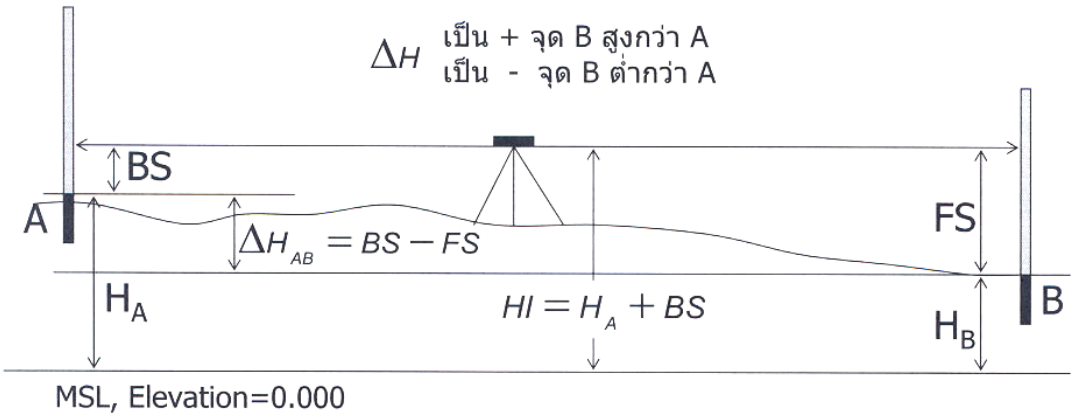


รูปที่ ก.20 การปรับหลอดระดับยาว

ก.4.2.2 กรณีกล้องระดับอัตโนมัติ

กล้องระดับอัตโนมัติ เมื่อทำการตั้งระดับกล้องด้วยลูกน้ำฟองกลมแล้ว ตัวชดเชยระบบอัตโนมัติจะอยู่ในสภาพพร้อมที่ทำงานได้ การตรวจสอบการทำงานของตัวชดเชยระดับอัตโนมัติสามารถทำได้โดยการกดปุ่มทดสอบที่กล้อง ซึ่งเมื่อกดขณะมองภาพในกล้องจะเห็นภาพสั่นเคลื่อนไหวขึ้นลงจนกระทั่งนิ่ง แสดงว่าระบบทำงานปกติ การใช้งานไม่จำเป็นต้องกดปุ่มนี้ทุกครั้งเพราะระบบจะทำงานตลอดเวลาที่กล้องตั้งได้ระดับโดยประมาณ

ก.4.3 การหาค่าระดับความสูงด้วยกล้องระดับ



รูปที่ ก.21 การหาค่าระดับความสูงด้วยกล้องระดับ

จากรูปที่ ก.21 จุด A เป็นจุดที่ทราบค่าระดับเหนือน้ำทะเลปานกลาง (MSL) เท่ากับ H_A ต้องการหาค่าระดับความสูงที่จุด B ทำการตั้งกล้องระดับอยู่ระหว่าง A และ B ตั้งไม้ระดับที่ A และ B อ่านค่าไม้ระดับที่จุด A ดังนั้นค่าไม้ระดับที่อ่านได้เรียกว่า ค่าไม้ระดับหลัง (Back – Sight,

BS) อ่านค่าไม้ระดับที่จุด B เรียกว่า ค่าไม้ระดับหน้า (Fore-Sight, FS) จะสามารถคำนวณค่าระดับความสูงของจุด B เหนือระดับน้ำทะเลปานกลางได้ดังนี้

คำนวณหาค่าสูงของกล้องเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางจาก $HI = H_A + BS$ …… (ก.44)

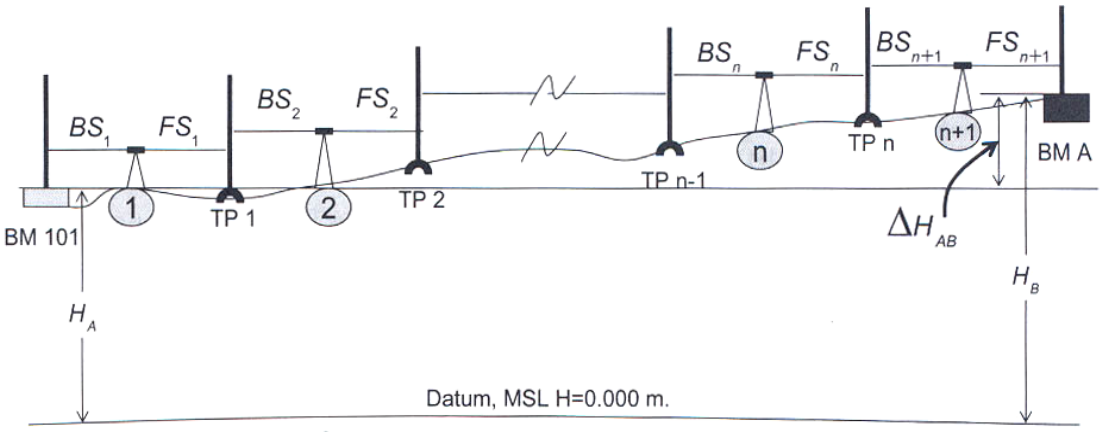
คำนวณหาค่าระดับของจุด B จาก $H_B = HI - FS$ ……. (ก.45)

หรือคำนวณค่าต่างระดับจาก A ไป B $\Delta H_{AB} = BS - FS$ …… (ก.46)

ดังนั้น ค่าระดับของจุด B คือ $H_B = H_A + \Delta H_{AB}$ …(ก.47)

ก.4.4 การระดับโดยวิธีหาค่าต่างระดับ (Differential Leveling)

การระดับโดยวิธีหาค่าต่างระดับ คือ การถ่ายระดับจากหมุดระดับที่ทราบค่าระดับ ซึ่งเรียกว่า “ Bench Mark’’ (BM) ไปยังหมุดระดับที่ต้องการทราบค่า ซึ่งจะถูกใช้เป็นหมุดระดับอ้างอิงในการดำเนินการต่างๆในบริเวณนั้น ด้วยการวัดและคำนวณค่าต่างระดับระหว่างหมุดทั้งสอง โดยปกติแล้ว BM ที่ทราบค่าระดับมักจะไม่อยู่ใกล้พื้นที่โครงการ การสร้างหมุดระดับสำหรับใช้เป็นหมุดอ้างอิงทางระดับในพื้นที่โครงการจึงจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานตลอดระยะเวลาโครงการ ซึ่งการระดับวิธีนี้จะให้ค่าความถูกต้องสูงเพียงพอตามความต้องการขึ้นอยู่กับการเลือกใช้เครื่องมือ กรรมวิธีการคำนวณ และการควบคุมคุณภาพในการทำงาน



รูปที่ ก.22 การะดับโดยวิธีหาค่าต่างระดับ

จากรูปที่ ก.22 BM 101 เป็นหมุดหลักฐานทางดิ่ง (Vertical Control Point) ที่ทราบค่าระดับ และ BMA เป็นหมุดระดับที่ต้องทราบค่าระดับ ซึ่งอยู่ไกลจากหมุด BM101 ระยะทางหนึ่ง เนื่องจากแนวเล็งของกล้องสามารถมองเห็นได้ดีในระยะไม่เกิน 70-80 เมตร ดังนั้นการถ่ายระดับจาก BM101 ไปยัง BMA จึงต้องมีการตั้งกล้องหลายครั้ง เริ่มต้นจากการตั้งกล้องครั้งที่ 1 ถ่ายค่าระดับไปยังจุดพักระดับหรือจุดถ่ายระดับ (Turning Point) TP1 และย้ายจุดตั้งกล้องครั้งที่ 2 เพื่อถ่ายค่าระดับต่อไปข้างหน้าไปยังจุดพักระดับ TP 2 โดยทำเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถ่ายค่าระดับเข้าหมุดระดับ BMA ฉะนั้นจากสมการที่ ก.46

ค่าต่างระดับของการตั้งกล้องแต่ละครั้ง เท่ากับ $\Delta H_i = BS_i - FS_i$

ดังนั้น ค่าต่างระดับจาก BM101 ไปยัง BMA คือ

$$\Delta H_{BM101\text{-}BMA} = \sum BS_{BM101\text{-}BMA} - \sum FS_{BM101\text{-}BMA} \quad \ldots\ldots \text{(ก.48)}$$

และค่าต่างระดับหมุด BMA คือ $H_{BMA} = H_{BM101} + \Delta H_{BM101\text{-}BMA}$

ก.4.5 การตรวจสอบความถูกต้อง

การตรวจสอบความถูกต้องงานระดับโดยวิธีหาค่าต่างระดับ สามารถทำได้โดยการเดินระดับย้อนกลับจากหมุด BMA มายังหมุด BM101 อีกครั้ง ซึ่งจะใช้ได้ว่า

$$\Delta H_{BMA\text{-}BM101} = \sum BS_{BMA\text{-}BM101} - \sum FS_{BMA\text{-}BM101}$$

หากไม่มีความคลาดเคลื่อนใดๆในการเดินระดับไปและกลับจะได้ว่า ค่าความแตกต่างของค่าต่างระดับไปและกลับเท่ากับ 0 หรือ

$$\Delta H_{BM101\text{-}BMA} - \Delta H_{BMA\text{-}BM101} = 0$$

แต่ในการวัดจะมีความคลาดเคลื่อนต่างๆเกิดขึ้นโดยเฉพาะความคลาดเคลื่อนสุ่มที่ไม่สามารถขจัดออกไปได้โดยตรง การยอมรับได้ของค่าความแตกต่างดังกล่าว จะพิจารณาได้จากข้อกำหนดความคลาดเคลื่อนบรรจบที่ยอมได้ในแต่ละชั้นงานตามมาตรฐานที่ระบุไว้ เช่น งานชั้นที่สามเท่ากับ $\pm 12(K)^{0.5}$ มิลลิเมตร เป็นต้น เมื่อ K คือระยะทางเฉลี่ยของการเดินระดับไปและกลับระหว่างหมุด BM101 และ BMA หน่วยเป็นกิโลเมตร ดังนั้น หากค่าความแตกต่างของค่าต่างระดับไปและกลับไม่เกินค่าดังกล่าว ก็สามารถยอมรับผลการทำระดับนั้นได้ โดยจะใช้ค่าเฉลี่ยของค่าต่างระดับไปและกลับเป็นค่าที่ยอมรับได้ของการวัดค่าต่างระดับนั้น

ก.4.6 ข้อกำหนดชั้นงานระดับ

ข้อกำหนดหรือเกณฑ์ชั้นงานของการระดับ ส่วนใหญ่นิยมใช้ตามเกณฑ์มาตรฐานของ Federal Geodetic Control Committee, FGCC ปี 1984 ซึ่งแบ่งเป็น 3 ชั้นงานตามระดับความถูกต้องของการใช้งานประเภทต่างๆ ในแต่ละชั้นงานยังสามารถแบ่งเป็นคลาสที่มีระดับความถูกต้องลดหลั่นกันไป ดังรายละเอียดในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 เกณฑ์ชั้นงานระดับมาตรฐาน FGCC 1984

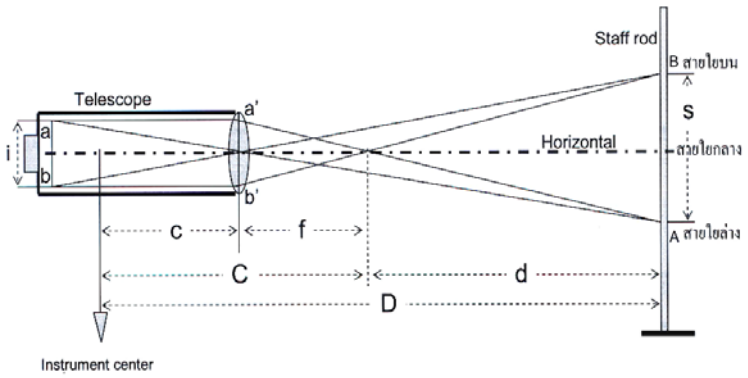
Classification	First Order	Second Order		Third Order
	Class I , Class II	Class I	Class II	
Principle uses Minimum standard; higher accuracies may be used for special purposes	Basic framework of the National Network and of metropolitan area control Extensive engineering project Regional crustal movement investigations Determining geopotential values	Secondary control of the National Network and of metropolitan area control Large engineering project Local crustal movement and subsidence investigations Support for lower order control	Control densification, usually adjusted to the National Network Local engineering projects Topographic mapping Studies of rapid subsidence Support for localsurveys	Miscellaneous local control; may not be adjusted to the National Network , Small engineering projects Small-scale topographic mapping Drainage studies and gradient establishment in mountainous areas
Recommended spacing of lines : national network Metropolitan control ; other purposes	Net A; 100 to 300 km Class 1 Net B; 50 to 100 km Class II 2 to 8 km As needed	Secondary network; 20 to 50 km 0.5 to 1 km As needed	Area control; 10 to 25 km As needed As needed	As needed As needed As needed
spacing of marks along lines	1 to 3 km	1 to 3 km	not more than 3 km	not more than 3 km
Gravity requirement	0.20 x 10^{-3} gpu	-	-	-
Instrument standards	Automatic or tilting levels with parallel plate micrometers; invar scale rods	Automatic or tilting levels with optical micrometers or three-wire level; invar scale rods	Geodetic levels and scale rods	Geodetic levels and rods
Field procedures Section length	Double-run; forward and backward ; each section 1 to 2 km	Double-run; forward and backward ; each section 1 to 2 km	Double or single run 1 to 3 km for double run	Double or single run 1 to 3 km for double run
Maximum length of sight	50 m Class I 60 m Class II	60 m	70 m	90 m
Field procedures [b] Max difference in lengths Forward and backward sights per setup per section (Cumulative) Max. length of line between connections	 2 m Class I ; 5 m Class II 4 m Class I ; 10 m Class II Net A ; 300 km Net B ; 100 km	 5 m 10 m 50 km	 10 m 10 m 50 km double run 25 km double run	 10 m 10 m 25 km double run 10 km single run
Maximum closures [c] Section : forward and backward loop or line	 3 mm $(k)^{0.5}$ Class I ; 4 mm $(k)^{0.5}$ Class II; 4 mm $(k)^{0.5}$ Class I ; 5 mm $(k)^{0.5}$ Class II ;	 6 mm $(k)^{0.5}$ 6 mm $(k)^{0.5}$	 8 mm $(k)^{0.5}$ 8 mm $(k)^{0.5}$	 12 mm $(k)^{0.5}$ 12 mm $(k)^{0.5}$

[b] The maximum length of line between connections may be decreased to 100 km double run for second order, class II, and to 50 km for double run for third order in those areas where the first order control has not been fully established.

[c] Check between forward and backward running where k is the distance in kilometers.

ก.4.7 การอ่านไม้ระดับ

การอ่านค่าไม้ระดับด้วยกล้องระดับซึ่งมีสายใยสามสายใย เมื่อตั้งกล้องได้ระดับและอ่านค่าไม้ระดับได้สามค่า คือ ค่าสายใยบน กลาง และล่าง (รูปที่ ก.23) แนวสายใยกลางจะเป็นแนวเล็งกล้องที่อยู่ในแนวราบ และช่วงระยะระหว่างสายใยบนและล่างที่เรียกว่า ช่วงสเตเดีย (Stadia Interval) จะสามารถใช้ในการคำนวณระยะระหว่างกล้องถึงไม้ระดับ (D) หรือเรียกว่าระยะสเตเดียได้ ดังนี้



รูปที่ ก.23 ระยะสเตเดีย

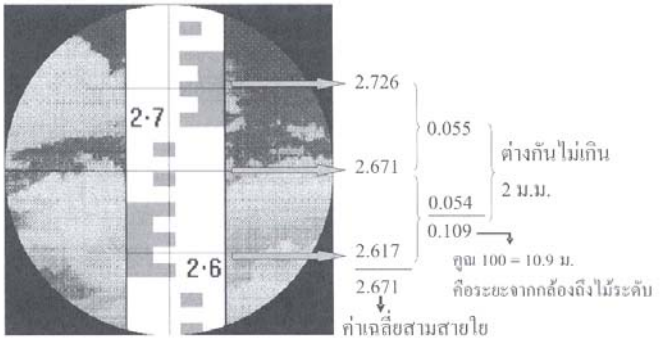
จากรูป ก.23 จะได้ว่า $d = fs/i$ เมื่อ s เป็นค่าช่วงสเตเดียบนไม้ระดับที่อ่านได้ i เป็นระยะระหว่างสายใยบนและล่างของกล้องระดับ f เป็นความยาวโฟกัสของกล้องระดับ ซึ่งทั้ง i และ f มีค่าคงที่สำหรับกล้องแต่ละกล้อง ถ้าให้ $k = f/i$ ฉะนั้น $d = ks$ และได้ว่า

$$d = ks + c \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(ก.49)}$$

ในการผลิตกล้องระดับจะผลิตให้กล้องมีค่า $k = 100$ และ $c = 0$ ดังนั้น สมการที่ 2.6 จะเป็น

$$d = 100s \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(ก.50)}$$

การอ่านค่าไม้ระดับทั้งสามสายใยด้วยกล้องระดับ ตัวเลขหลักสุดท้ายจะเป็นตัวเลขที่ได้จากการประมาณของผู้อ่าน เมื่อนำค่าทั้งสามมาเฉลี่ยจะเป็นค่าของสายใยกลาง การตรวจสอบผลที่อ่านว่ายอมรับได้หรือไม่นั้นพิจารณาจากค่าผลต่างระหว่างค่าต่างสายใยบนและกลาง และค่าต่างสายใยกลางและล่างว่าเกิน 2 มิลลิเมตรหรือไม่ หากไม่เกินถือว่ายอมรับได้ และถ้าเกินต้องทำการอ่านใหม่จนได้ผลต่างไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ตัวอย่างดังแสดงในรูป ก.24



รูปที่ ก.24 การอ่านและคำนวณค่าไม้ระดับ

ภาคผนวก ข แบบหล่อคอนกรีตและค้ำยัน

ข.1 แบบหล่อคอนกรีตงานสะพาน

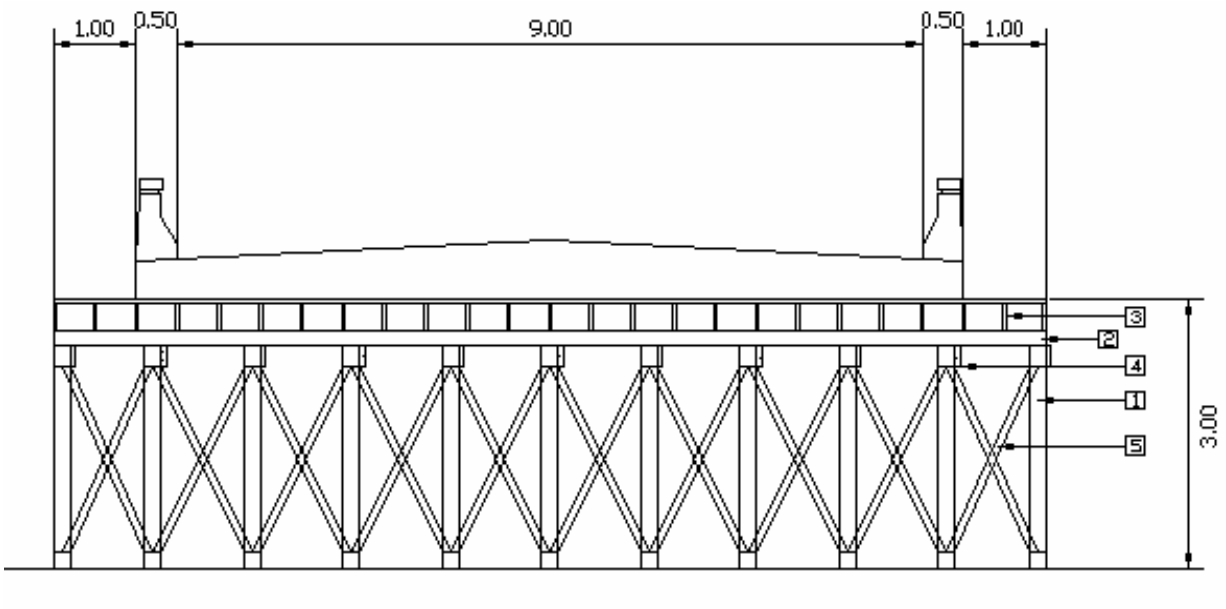
การก่อสร้างสะพานในปัจจุบันมีแตกต่างกันหลายระบบทั้งนี้อยู่กับช่วงความยาวและสภาพภูมิประเทศในบริเวณที่จะทำการก่อสร้าง ช่วงยาวของสะพานได้เพิ่มมากขึ้น ๆ ตามความเจริญทางเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในการออกแบบและการก่อสร้าง การใช้แบบหล่อคอนกรีตจึงต้องพัฒนาไปตามเทคนิคการก่อสร้างเพื่อให้การก่อสร้างเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดและให้ความมั่นคงแข็งแรงทางโครงสร้างตลอดระยะการใช้งานอันยาวนาน การที่จะใช้แบบหล่อกับที่โดยการวางค้ำยันจากพื้นดิน หรือท้องลำธารเบื้องล่างต่อขึ้นไปสูง ๆ เพื่อรับท้องแบบคานและพื้นสะพานดังแสดงในรูปที่ ข.1 เป็นการไม่ประหยัดและสิ้นเปลืองมากอีกทั้งอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการทรุดตัวของพื้นรองรับเนื่องจากฝนหรือกระแสน้ำนำไปสู่การวิบัติได้ การทดแทนแบบหล่อกับที่ในลักษณะดังกล่าวจึงได้เริ่มขยายตัวพัฒนาเรื่อยไปอย่างไม่หยุดยั้ง ในที่นี้จะได้กล่าวเฉพาะระบบที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั่ว ๆ ไปตามความเหมาะสมเฉพาะแห่ง เช่น แบบหล่อในที่พื้นสะพานในระบบตงเหล็ก พื้นสะพานในระบบตงคอนกรีตสำเร็จรูปแบบหล่อสะพานระบบก่อสร้างปลายยื่น แบบหล่อสะพานดันเข้าที่ และแบบหล่อสะพานระบบหล่อทีละชิ้น

รูปที่ ข.1 การก่อสร้างสะพานด้วยการตั้งแบบหล่อในที่

ข.1.1 แบบหล่อในที่

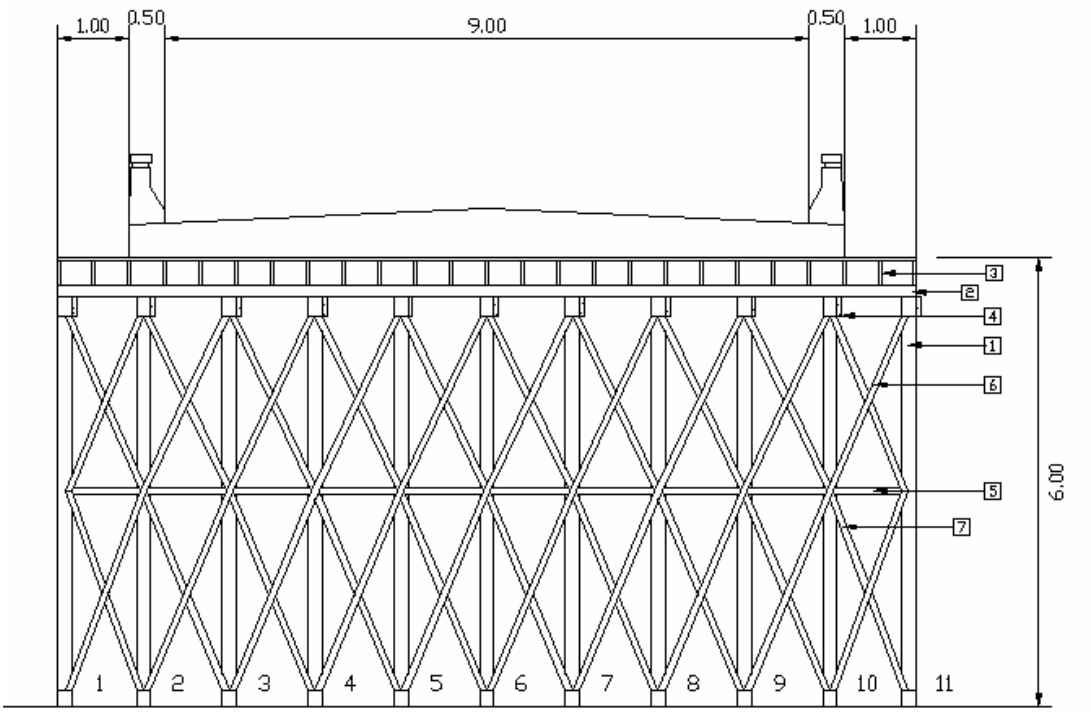
สะพานที่ใช้วิธีการหล่อกับที่ ส่วนมากจะเป็นสะพานช่วงสั้น พื้นสะพานไม่สูงจากระดับพื้นดินมากและมีพื้นดินที่แข็งแรงพอเพียงในการตั้งค้ำยันได้สะพานแบบนี้โดยทั่วไปจะเป็นแบบแผ่นพื้นทางเดียวหรือแบบคานซอยรูปทีวางพาดระหว่างตอม่อตามแนวสะพานซึ่งมีช่วงยาวไม่เกิน 12 เมตร ยกเว้นในกรณีของสะพานรูปโค้งลักษณะของค้ำยันส่วนมากจะไม่ได้วางกับพื้นดินขึ้นมาโดยตรง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

นั่งร้านควรตอกเสาหรือค้ำยันลงดินในกรณีที่ตอกเสียบไม่ได้ให้ใช้วิธีขุดแล้วฝังหรือใช้สว่านเจาะตามความเหมาะสม แต่ห้ามวางหรือหนุนไว้กับพื้นดินเปล่า ๆ ทั้งนี้เพราะอาจจะหลุดออกได้โดยเฉพาะถ้ามีกระแสน้ำพัดผ่านขนาดของคานรองซึ่งจะยึดหัวเสาขึ้นอยู่กับระยะของเสา และน้ำหนักคอนกรีตที่จะหล่อ ซึ่งอาจใช้เป็นคานคู่การใช้เสาเหล็กหรือนั่งร้านเหล็กอาจพบอุปสรรคบ้างเกี่ยวกับพื้นดินรองรับมีระดับไม่เสมอกันควรแยกออกเป็น 2 ส่วน ระบบส่วนล่างเป็นเข็มที่ตัดปลายได้อาจจะเป็นไม้หรือเหล็กใช้แล้วเพื่อปรับระดับให้เสมอกันและส่วนบนเป็นระบบค้ำยันหรือนั่งร้านตามปกติธรรมดาที่ใช้กันทั่วไปทั้งนี้โดยใช้คานรูปโอ คานปีกกว้าง (Wide Flange) หรือคานไม้ขนาดใหญ่เพื่อถ่ายแรงจากค้ำยันหรือนั่งร้านลงสู่ฐานรากข้างล่าง



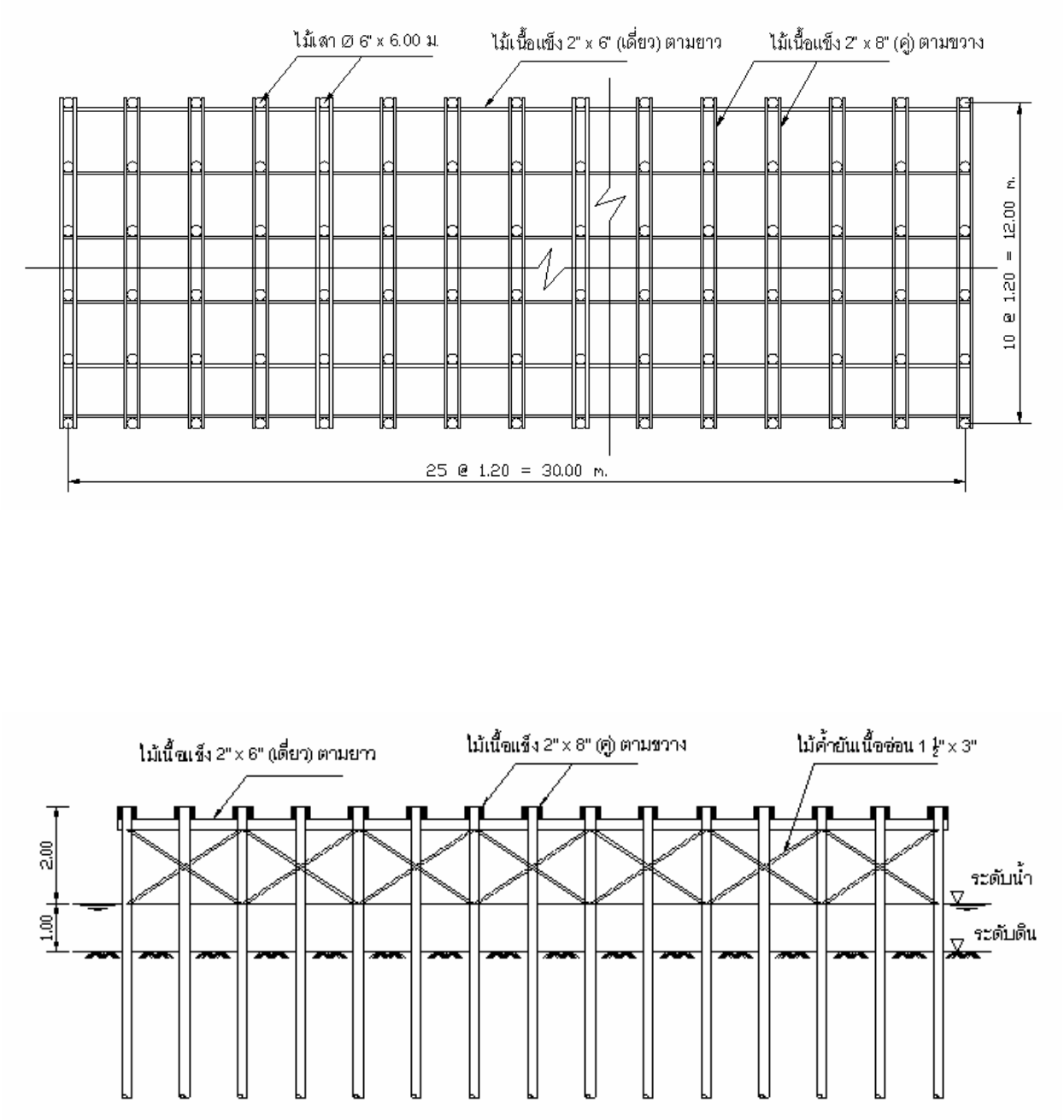
1	เสาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6" x 6.00 m. @1.20 m. Max.
2	คานไม้เนื้อแข็ง 2" x 8" คีบคู่
3	ตงไม้เนื้อแข็ง 1-1/2" x 6" @0.50 m.
4	คานรัดคอตามยาวไม้เนื้อแข็ง 1-1/2" x 6" ทุกแถว
5	ไม้ค้ำยันเฉียง 1-1/2" x 3" x 3.50 m. (ไม้เนื้ออ่อน)

รูปที่ ข.2 ชิ้นส่วนของระบบแบบหล่อในที่ของงานสะพาน



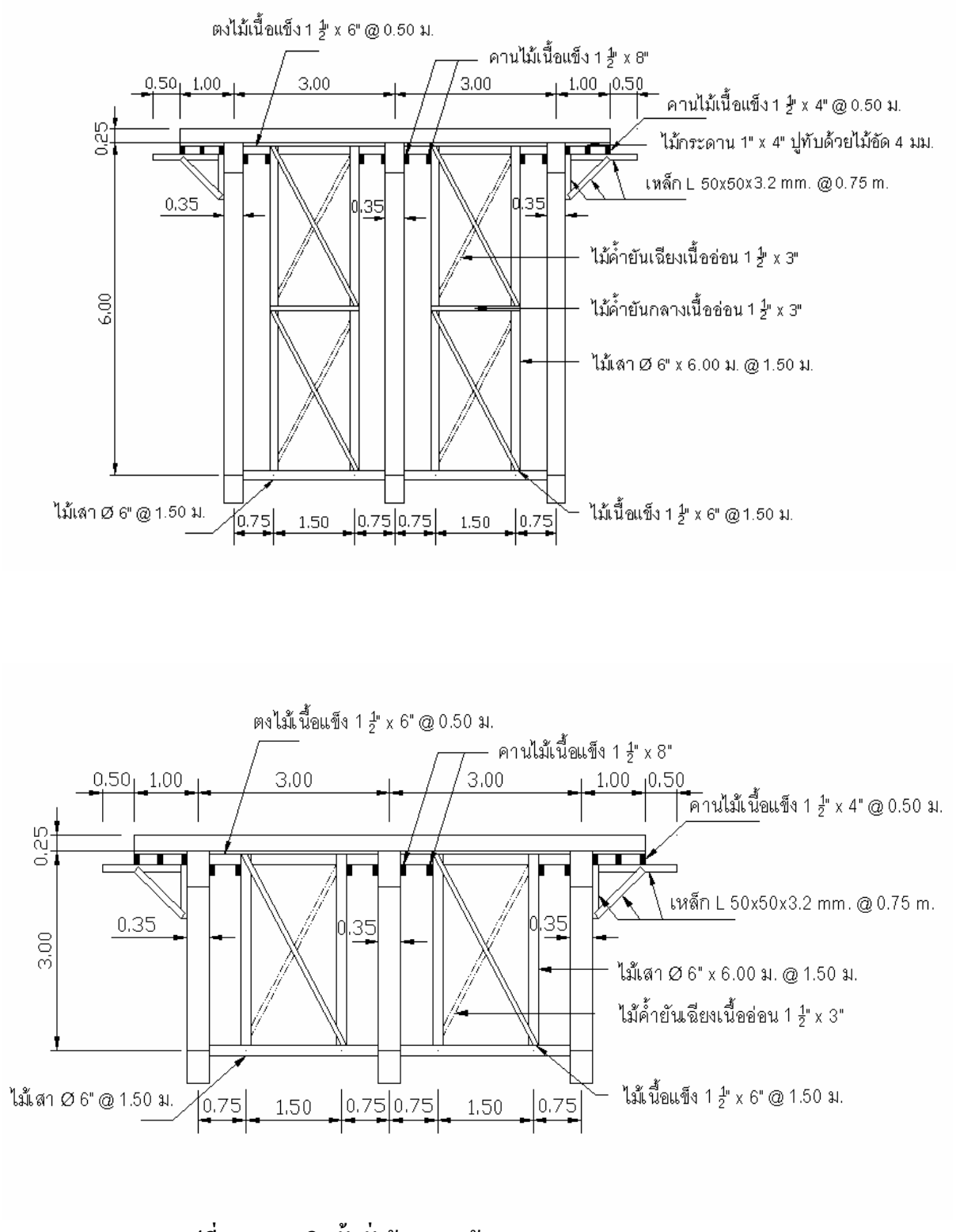
1	เสาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6" x 6.00 m. @1.20 m. Max.
2	คานไม้เนื้อแข็ง 2" x 8" คีบคู่
3	ตงไม้เนื้อแข็ง 1-1/2" x 6" @0.50 m.
4	คานรัดคอตามยาวไม้เนื้อแข็ง 1-1/2" x 6" ทุกแถว
5	ไม้ค้ำยันกลาง 1-1/2" x 3" (ไม้เนื้ออ่อน)
6	ไม้ค้ำยันเฉียง 1-1/2" x 3" x 3.50 m. (ไม้เนื้ออ่อน)
7	ไม้ค้ำยันเฉียง 1-1/2" x 3" x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

รูปที่ ข.3 ชิ้นส่วนนั่งร้านของงานสะพานแบบ Slab Type



รูปที่ ข.4 นั่งร้านและระบบค้ำยันของงานสะพานข้ามแม่น้ำ

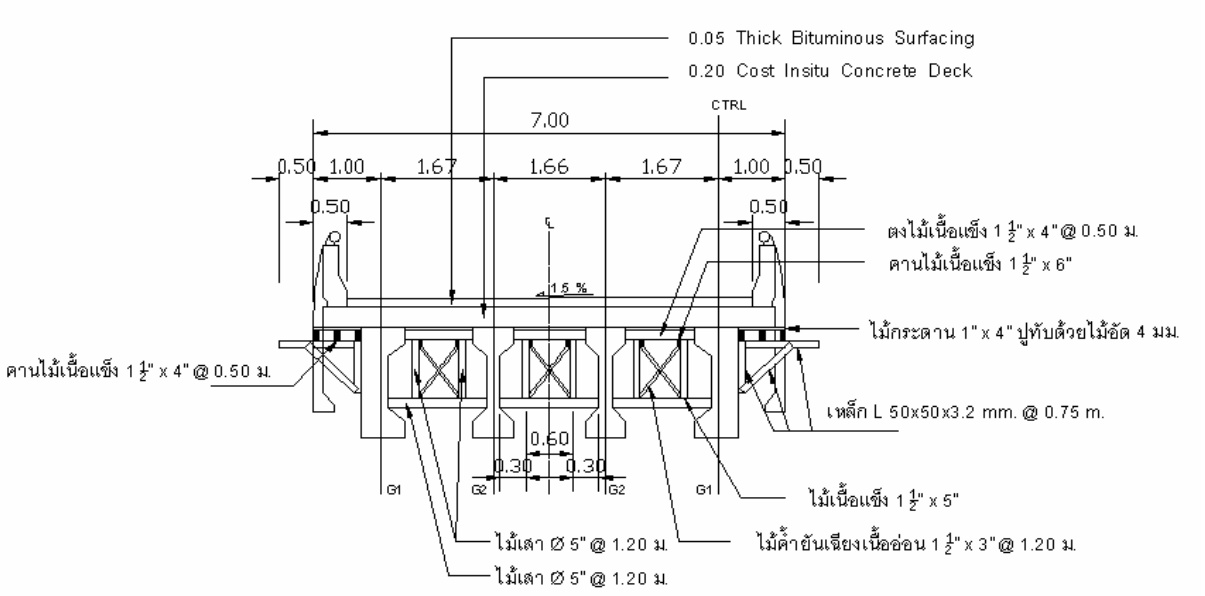
ข.1.2 แบบหล่อ Approach Structure



รูปที่ ข.5 การติดตั้งนั่งร้าน และท้องแบบ งาน Approach Structure

ข.1.3 แบบหล่อพื้นสะพานโดยใช้ตงเหล็ก

สะพานที่มีตงเป็นเหล็กตัวไอ (I) และตงเหล็กแผ่น (Plate Girder) ผนวกกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กออกแบบไว้เพื่อให้ก่อสร้างได้รวดเร็ว และลดจำนวนแบบหล่อคอนกรีตให้น้อยลง ทั้งนี้โดยพยายามใช้ตงเป็นตัวแบกรับน้ำหนักค้ำยัน โดยไม่ต้องตั้งค้ำยันขึ้นมาจากพื้นดิน ในทางปฏิบัติจะใช้ลิ่มหรือตัวหนุนรองรับตงเพื่อให้สามารถถอดแบบได้ง่ายแล้วจึงวางแผ่นไม้อัด หรือแผ่นเหล็กเพื่อใช้เป็นท้องแบบวางอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีระบบที่ใช้เชื่อมยึดกับตงเหล็กที่ปีกบนแล้วหิ้วคานรับดังแสดงในรูปที่ ข.6 ตัวแขวนยึดจะเป็นน็อตเกลียวปล่อยที่มีความยาวสอดคล้องกับขนาดคานและตงรับท้องแบบที่เกลียวปล่อยอาจจะต้องทาจาระบีที่ปลายทุกครั้ง เพื่อสามารถถอดแบบได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ส่วนล่างของปลายตัวแขวนยึดจะเป็นเหล็กแผ่นที่มีความหนาและขนาดแข็งแรงพอที่จะแบกรับน้ำหนักของคานได้



รูปที่ ข.6 การติดตั้งคานรองรับ และตงรับท้องแบบพื้นสะพาน

ระบบพื้นสะพานที่ใช้เหล็กพับเป็นแบบหล่อ และทิ้งไว้กับที่ทั้งนี้เพื่อประหยัดเวลาในการประกอบแบบพอสมควร แต่เหล็กพับจะต้องมีความสอดคล้องกับระยะห่างระหว่างตงเหล็ก อีกทั้งควรจะมีการชุบสังกะสีกันสนิมหรือฉาบผิวด้วยสีอย่างดี เหล็กแผ่นพับอันนี้บางครั้งอาจใช้เพื่อเป็นแบบหล่อเพียงอย่างเดียว โดยที่จะมีเหล็กเสริมน้ำหนักทางโครงสร้างต่างหาก กรณีคำนวณออกแบบให้แผ่นเหล็กพับรับน้ำหนักด้วย ต้องมีการย้ำผิวให้ขรุขระหรือมีแผ่นคั่นเพื่อป้องกันการแยกตัวจากแรงเฉือน ระหว่างแผ่นเหล็กและคอนกรีตในการบรรทุกน้ำหนักที่ปีกของตงเหล็กจะต้องมีเหล็กฉากเชื่อมตลอดแนว เพื่อเป็นบ่าวางแผ่นเหล็กพับและกันน้ำปูนทะลักออกหรือจะวางแผ่นเหล็กพับพาดผ่านตงเหล็กไปเลย ทั้งนี้จะต้องไม่ใช้ผลเกี่ยวกับกำลังเชิงประกอบของตงเหล็กกับพื้นคอนกรีต

ข.1.4 แบบหล่อพื้นสะพานตงคอนกรีตสำเร็จรูป

การหล่อพื้นสะพานตงคอนกรีตสำเร็จรูป นิยมใช้ในลักษณะคล้ายกับกรณีของตงเหล็กรูปพรรณแต่อาจจะยุ่งยากกว่าเล็กน้อยเพราะตงคอนกรีตโดยเฉพาะที่เป็นคอนกรีตอัดแรงถ้าไม่ได้ฝังเหล็กเดือยหรือหัวน็อตไว้ก่อนจะทำให้การเชื่อมยึดต่าง ๆ ยุ่งยากกว่าในการก่อสร้างที่ดีจึงต้องมีการวางแผนงานที่ดีและจะต้องเตรียมการไว้ก่อนเสมอหลังจากที่ตงคอนกรีตวางเข้าที่เรียบร้อยแล้ว การที่จะเทพื้นสะพานนิยมก่อสร้างแบบหล่อใน 2 ลักษณะ คือ

ข.1.4.1 การจัดแบบหล่อพื้นสะพานในกรณีที่แบบระบุให้ใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูป (Panel) เป็นแบบรองพื้นหลักการสำคัญในแนวทางปฏิบัติมีดังนี้.-

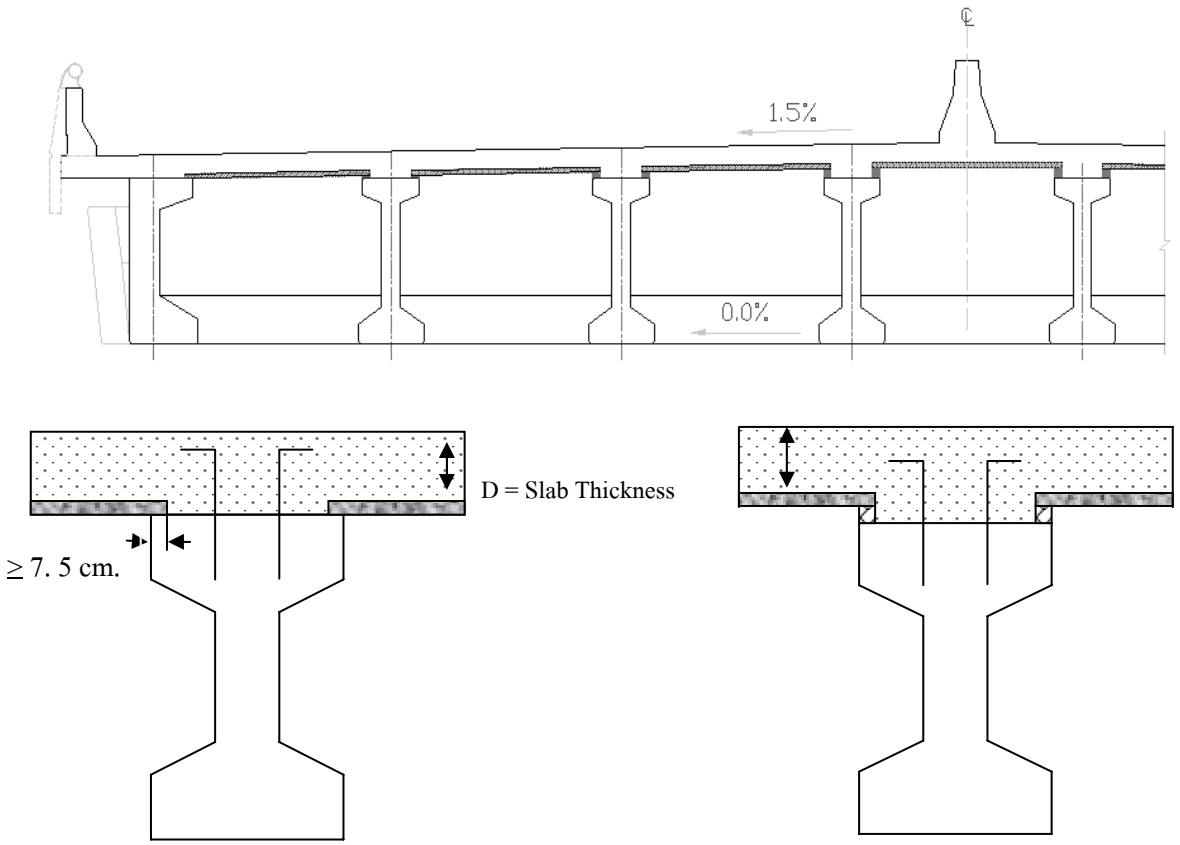
ข.1.4.1.1 ตรวจสอบแผ่นพื้นสำเร็จให้ถูกต้องเรียบร้อยไม่มีรอยแตกหัก และต้องมีรายการคำนวณการรับน้ำหนักของ Panel ที่นำมาใช้ สำหรับงานก่อสร้างสะพานในปัจจุบันกำลังรับน้ำหนักของ Panel ที่เป็นแบบหล่อต้องไม่น้อยกว่า 750 Kg/m.^{2} ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ ให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างกำหนด

ข.1.4.1.2 ต้องตรวจสอบระดับการติดตั้งโดยให้มีระดับความหนาของพื้นคอนกรีตที่หล่อทับบน Panel คงที่ และเป็นไปตามแบบอาจใช้ Mortar หนุนเสริมใต้ Panel เพื่อให้วางอยู่ในระดับ Grade Line ตลอดซึ่งทำให้ระดับความหนาของพื้นคอนกรีตที่หล่อคงที่ได้

ข.1.4.1.3 ตรวจสอบทิศทางและตำแหน่งการวาง Panel ปลายของ Panel จะต้องวางอยู่บนที่รองรับหลังคานโดยให้เกยเข้ามาไม่น้อยกว่า 7.5 cm. และใช้ Mortar ปรับระดับให้ได้ตามแบบและตบแต่งให้เรียบร้อย

ข.1.4.1.4 อุดรอยต่อระหว่าง Panel โดยใช้แผ่นพลาสติกกรองที่รอยต่อเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึมแล้วจึงใช้ Mortar อุดปิดทับรอยต่อก่อนที่จะทำการหล่อคานคอนกรีตพื้นสะพานตามแบบต่อไป

การจัดแบบหล่อพื้นสะพานโดยใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูป (Panel) เป็นแบบหล่อแสดงในรูปที่ ข.7



รูปที่ ข.7 แบบหล่อพื้นสะพานโดยใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูป (Panel)

หมายเหตุ : การใช้แบบหล่อพื้นสะพานแบบนี้ถ้าในกรณีที่แบบไม่ได้ระบุให้ใช้ ต้องให้ผู้รับจ้างเสนอแบบรายละเอียดพร้อมรายการคำนวณให้สำนักสำรวจและออกแบบพิจารณาเห็นชอบก่อน

ข.1.4.2 การจัดแบบหล่อพื้นสะพานตงคอนกรีตสำเร็จรูปในลักษณะของคานขวางคู่จะจัดเป็นชุด ๆ กล่าวคือ คู่ล่างจะวางบนปีกล่างของคานคอนกรีตอัดแรงแล้วใช้ขาวางพาดบนคานคู่ล่างเพื่อรองรับคานคู่บนซึ่งจะใช้เป็นตงรับแผ่นผิวท้องแบบ พื้นขานี้มีแป้นที่ปลายล่างเพื่อวางบนคานขวางคู่ล่างข้างบนจะมีแป้นเช่นกันเพื่อวางคานคู่บนซึ่งอาจใช้เป็นตงได้ขาประกอบด้วยท่อสองส่วนสอดกันอยู่และมีน็อตปรับระดับให้ได้ตามความต้องการ และสามารถใช้เพื่อการลดระดับในการถอดแบบอีกด้วย

ข.1.5 แบบหล่อสะพานในระบบก่อสร้างแบบปลายยื่น

ในปัจจุบันสะพานได้ขยายความยาวช่วงออกไปมาก สะพานรูปกล่องขนาดใหญ่สามารถทำการก่อสร้างได้ด้วยการก่อสร้างตอม่อ โดยขึ้นรูปแบบที่ตอม่อและค่อยๆ ก่อสร้างยื่นออกไปข้างละเท่าๆ กัน ทั้งสองด้าน (Cantilevered Construction) ดังแสดงในรูปที่ ข.8 ข.9 และ ข.10 การก่อสร้างสะพานรูปกล่องทั่วไปจะหล่อพื้นล่างก่อนจะประกอบแบบข้างล่างและท้องแบบพื้นบนแล้วจึงเทคอนกรีตส่วนเอว (Web) และพื้นบนพร้อมกัน เนื่องจากโครงสร้างยื่นออกมาจากตอม่อ การประกอบแบบหล่อสะพานของส่วนที่ยื่นออกมานี้ จะต้องหิ้วไว้ด้วยโครงเฟรมขนาดใหญ่ซึ่งจะมีรายละเอียดการยึดติดกับพื้นโครงสร้างที่แล้วเสร็จ รายละเอียดการขับเคลื่อนไปข้างหน้าตามความก้าวหน้าของการก่อสร้าง รายละเอียดการแขวนหิ้วท้องแบบข้างแบบและโครงสร้างขณะที่ยังรับน้ำหนักไม่ได้แสดงในรูปที่ ข.11

รูปที่ ข.8 แบบหล่อสะพานยื่น

รูปที่ ข.9 แบบหล่อสะพานยื่น

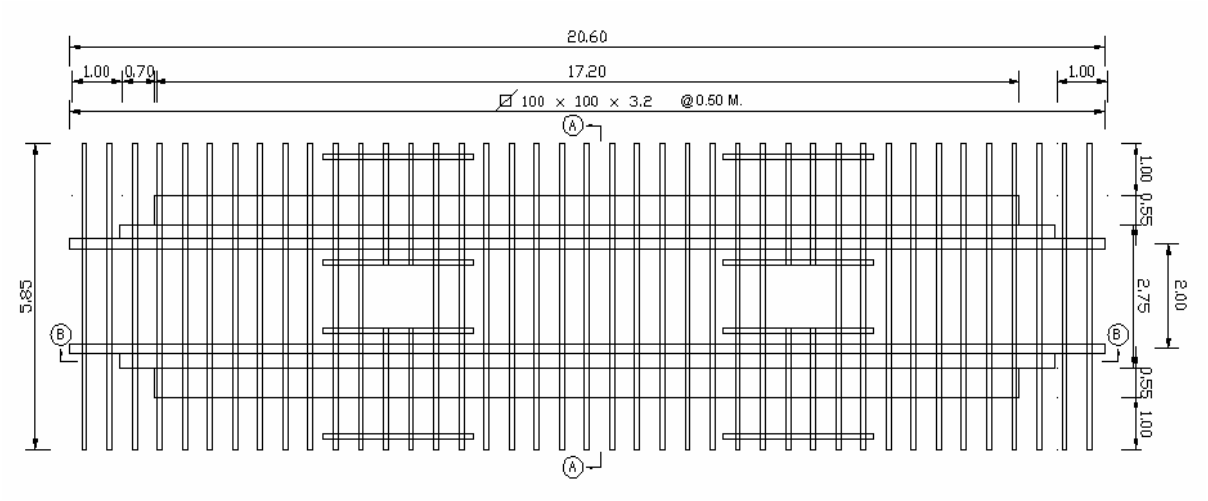
รูปที่ ข.10 ลักษณะภายในของหน้าตัดรูปกล่อง

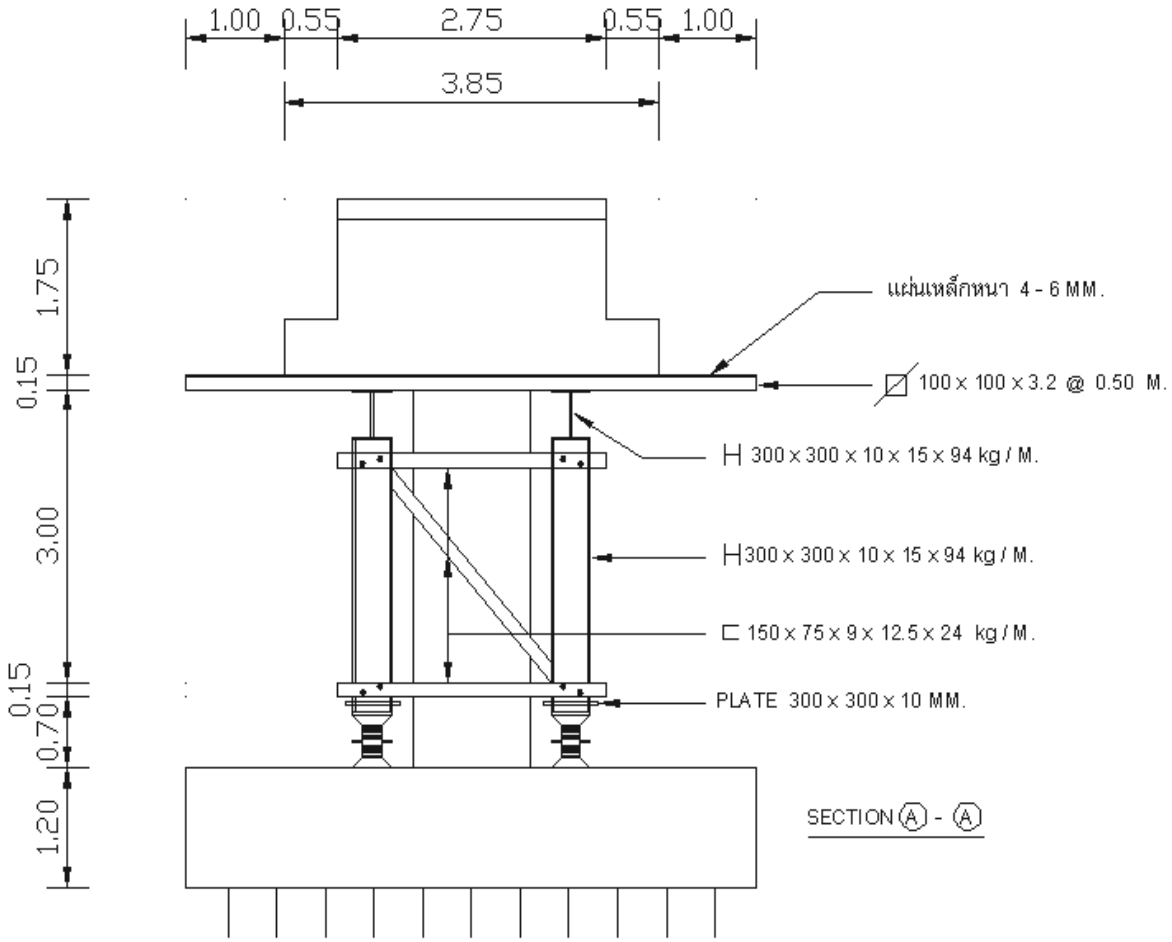
รูปที่ ข.11 แบบหล่อและนั่งร้านทำงาน

รูปที่ ข.12 รายละเอียดของโครงยื่นเพื่อรับน้ำหนักส่วนของสะพานยื่น

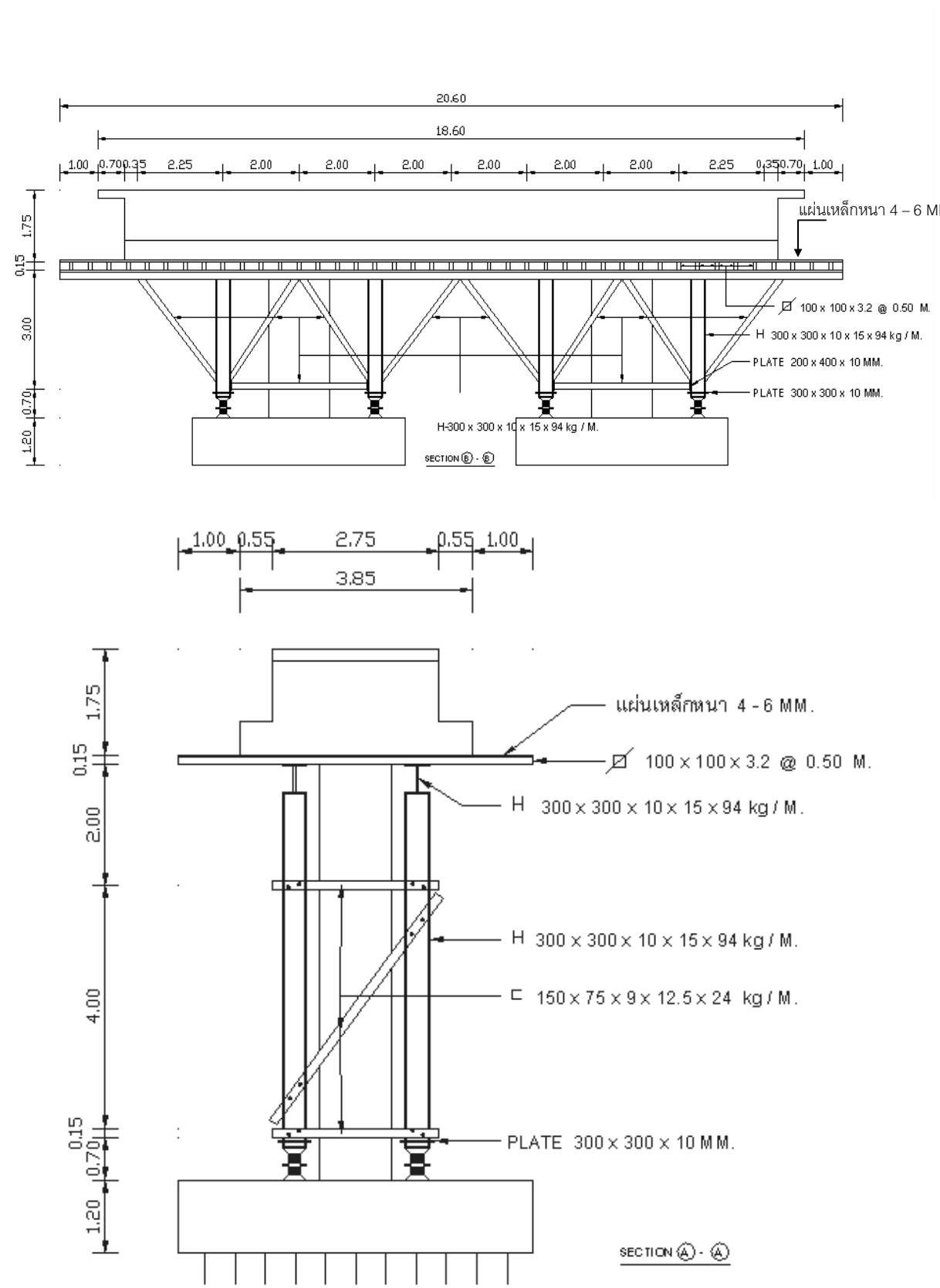
รูปที่ ข.13 แบบหล่อสะพานยื่นที่ใช้แบบเหล็ก

รูปที่ ข.14 แบบหล่อสะพานยื่นที่ใช้แบบไม้

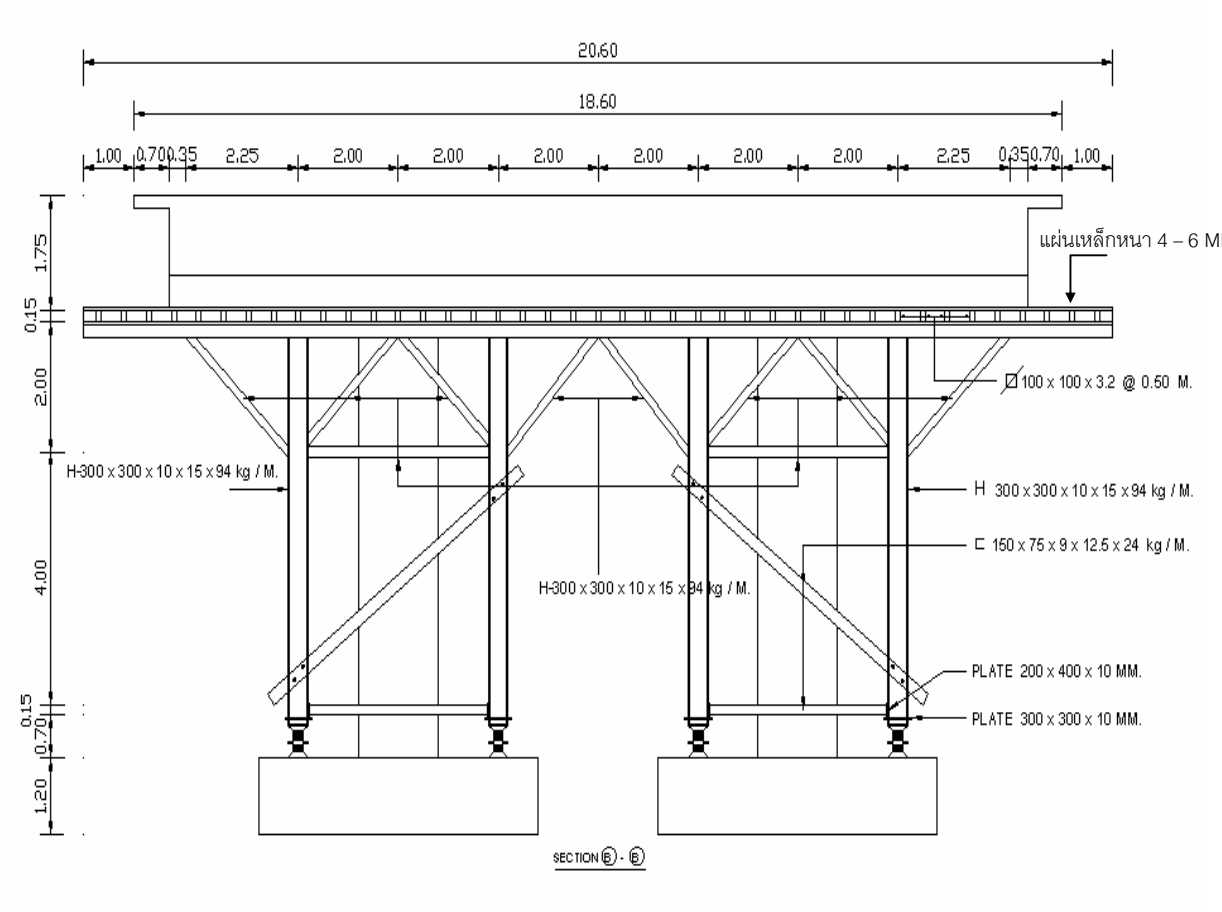




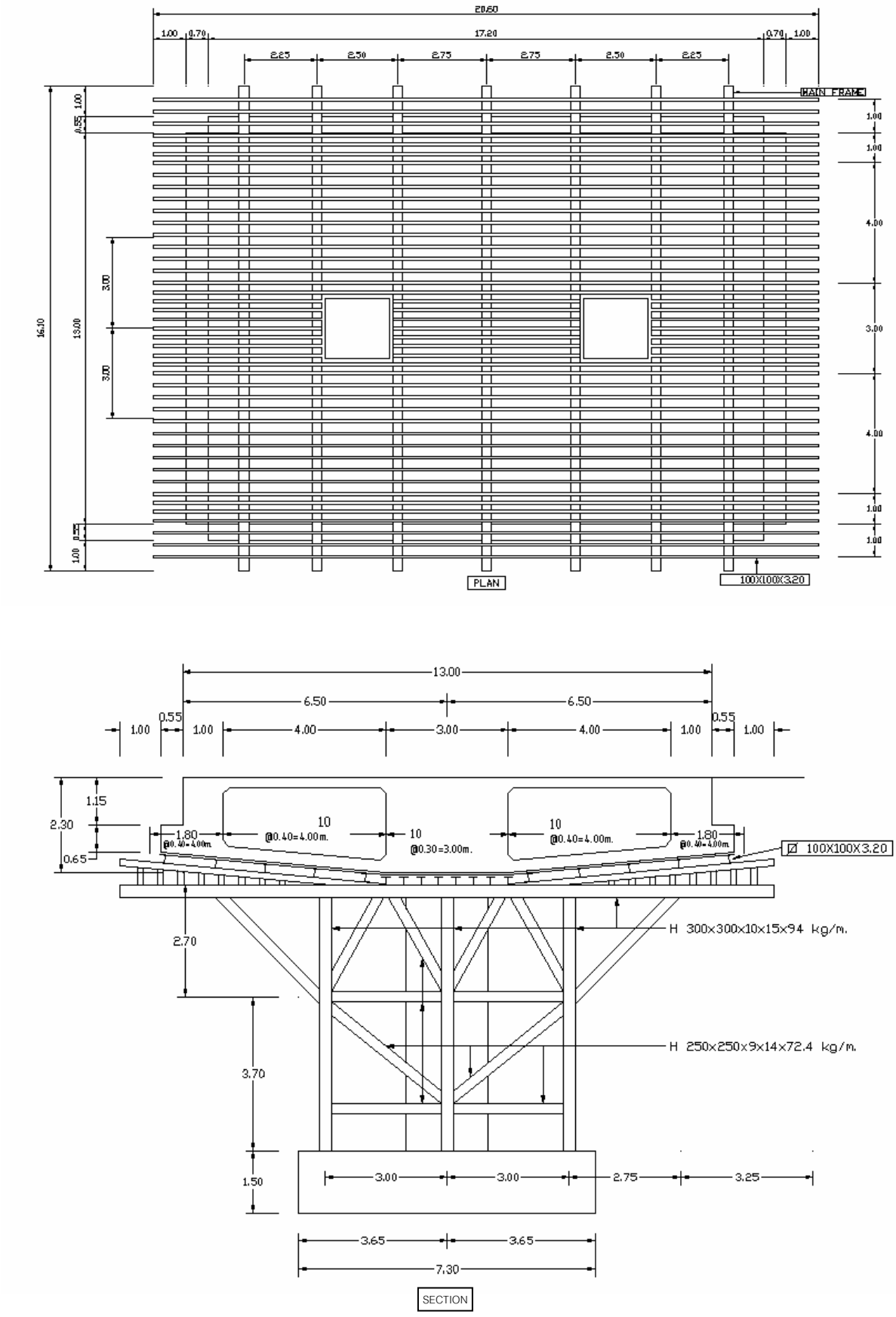
รูปที่ ข.15 (ก) การติดตั้งนั่งร้าน และท้องแบบ งาน Cantilever Deck



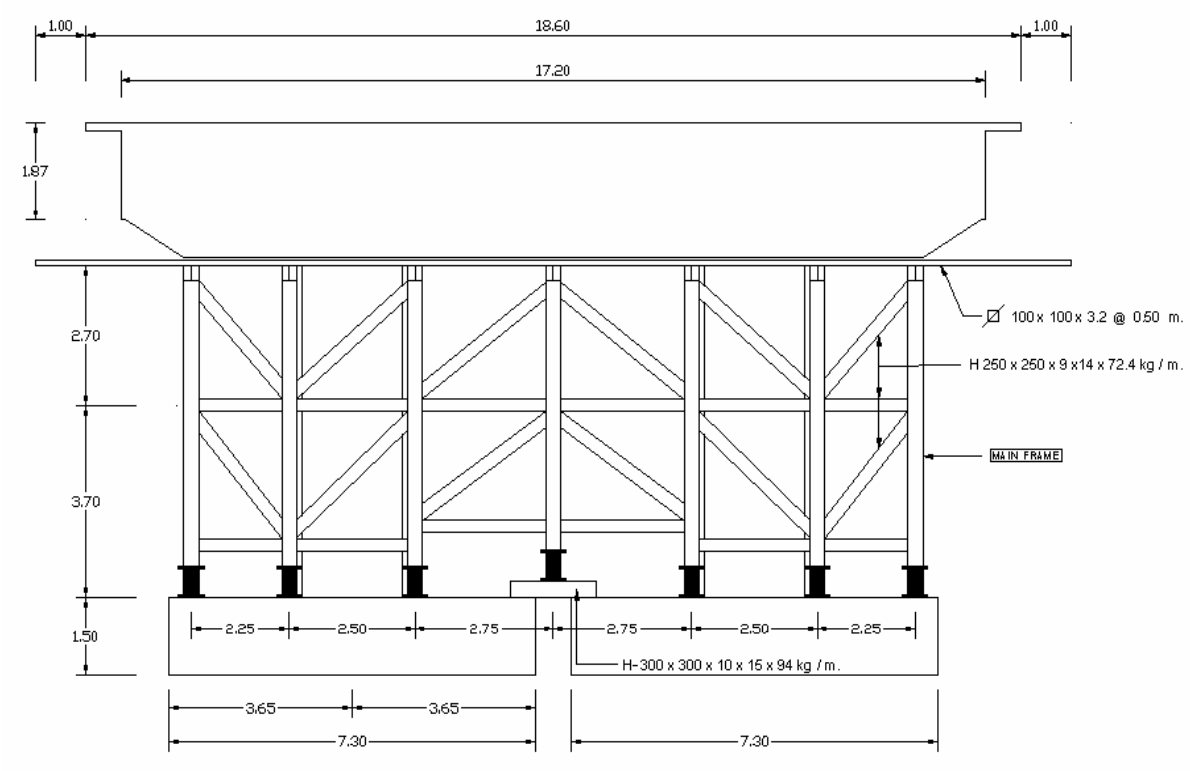
รูปที่ ข.15 (ข) การติดตั้งนั่งร้าน และท้องแบบ งาน Cantilever Deck



รูปที่ ข.15 (ค) การติดตั้งนั่งร้าน และท้องแบบ งาน Cantilever Deck



รูปที่ ข.16 (ก) การติดตั้งนั่งร้าน และท้องแบบ งาน Cantilever Deck (Hollow Type)



รูปที่ ข.16 (ข) การติดตั้งนั่งร้าน และท้องแบบ งาน Cantilever Deck (Hollow Type)

ข.2 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 ข.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

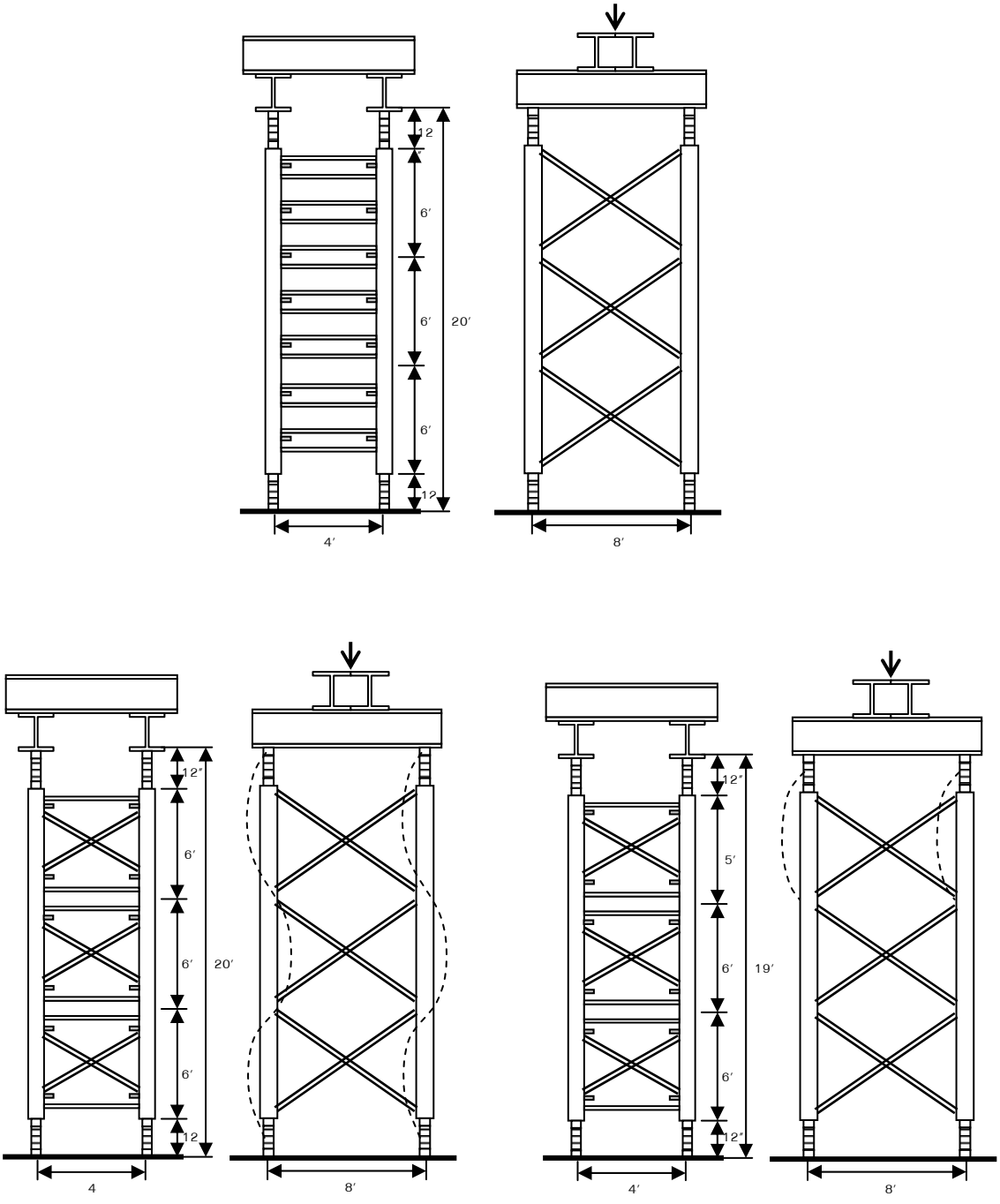
รูปที่ ข.17 (ก) ค้ำยันไม้

ค้ำยันเหล็กส่วนใหญ่จะเป็นเหล็กแป๊บขนาดเดียวตลอดความยาวหรือสองขนาดสวมกันได้พอเหมาะปรับระยะได้โดยใช้สลักเสียบผ่านรูที่เจาะไว้ที่แป๊บตัวนอกและแป๊บตัวในจะนิ่งอยู่บนสลักนี้ หรืออาจจะปรับด้วยเกลียวโดยให้แป๊บตัวนอกนั่งอยู่บนแป้นเกลียวที่ปรับแป้นรองรับตัวบนมักจะสวมไว้ในตัวเสายันซึ่งอาจปรับหน้าแปลนได้เล็กน้อยแป้นขาหยั่งส่วนล่างอาจเป็นเหล็กหล่อรูปกลวงสำหรับเสียบท่อแป๊บลงได้พอดี หรืออาจเป็นเกลียวระยะสั้นๆ เพื่อการยึดกับเสาค้ำยันได้อย่างมั่นคง การยึดระหว่างเสาเพื่อป้องกันการดุ้งอาจทำได้ด้วยการใช้ตัวรัดทั้งแป้นบน แป้นขาหยั่งและตัวปรับระดับดังแสดงไว้ในรูปที่ ข.17 (ข)

การใช้นั่งร้านเหล็กเป็นค้ำยันใช้ได้ในหลาย ๆ กรณี เพราะนั่งร้านสำเร็จรูปส่วนใหญ่จะเบาแต่อาจเป็นปัญหาเกี่ยวกับระดับได้ เพราะค้ำยันแต่ละท่อนจะมีความยาวคงที่อาจจะเป็น 1.20 1.50 1.80 2.00 หรือ 2.40 เมตรแล้วแต่บริษัทผู้ผลิต ดังนั้นจึงต้องดัดแปลงให้มีการปรับระดับได้ที่แป้นรับส่วนบนและแป้นขาหยั่งส่วนล่าง ดังแสดงในรูปที่ ข.17 (ค) ข้อควรพิจารณาประกอบการใช้นั่งร้านเหล็กเป็นค้ำยันคือความสามารถรับแรงในแนวแกน จึงต้องศึกษารายละเอียดของผู้ผลิตอย่างถี่ถ้วน และพิจารณาถึงเสถียรภาพตลอดถึงวิธีการยึดเกาะกับตัวโครงสร้างข้างเคียง เช่น ตอม่อ เพื่อลดค่าความชะลูดและเพิ่มความสามารถในการรับแรง มิฉะนั้นอาจจะเกิดการวิบัติของนั่งร้านได้ ดังแสดงในรูปที่ ข.18

รูปที่ ข.17 (ข) ลักษณะค้ำยันเหล็ก

รูปที่ ข.17 (ค) การใช้นั่งร้านเหล็ก



รูปที่ ข.18 ลักษณะการวิบัติแบบต่าง ๆ ของนั่งร้าน

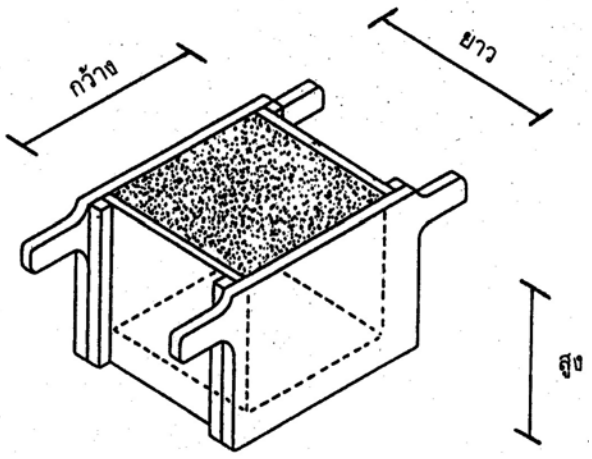
ภาคผนวก ค การผสม การลำเลียง การเทลงแบบ และการอัดแน่น

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

ค.1 การวัดส่วนผสม

การวัดส่วนผสมอาจทำได้ 2 วิธี คือ การตวงส่วนผสมโดยปริมาตรและการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก

ค.1.1 การวัดส่วนผสมโดยปริมาตร เหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก และคอนกรีตที่กำลังอัดค่อนข้างต่ำ แต่หากทำให้ถูกต้องก็สามารถผลิตคอนกรีตที่มีคุณภาพได้พอสมควร โดยผู้รับเหมาควรใช้กระบะมาตรฐานในการตวงปริมาตรของ หิน ทราย อย่างไรก็ตามความชื้นบนผิวมวลรวมจะมีผลต่อหน่วยน้ำหนักอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของมวลรวมละเอียด ซึ่งอาจมีหน่วยน้ำหนักเมื่อชื้นต่างจากเมื่อแห้งถึง 30 % การวัดปริมาณปูนซีเมนต์โดยทั่วไปจะประมาณจากจำนวนถุงเพราะปูนซีเมนต์มีน้ำหนักแน่นอน คือ 1 ถุงหนัก 50 กิโลกรัม ส่วนปริมาณน้ำอาจใช้ค่ายุบตัวเป็นเกณฑ์ควบคุม



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

ค.1.2 การวัดส่วนผสมด้วยการชั่งน้ำหนัก เป็นวิธีที่แน่นอนกว่าการตวงปริมาตรมาก เหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดใหญ่งานคอนกรีตกำลังอัดปานกลาง – สูง การวัดด้วยน้ำหนักยังมีผลดีต่อการปรับน้ำหนักส่วนผสมตามสภาพความชื้นของมวลรวมอีกด้วย ทั้งนี้ให้เป็นไปตาม ทล.ม.409 สำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตผสมเสร็จตาม มอก.213 สรุปในตารางที่ ค.1 ดังนี้

ตารางที่ ค.1 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนของการชั่งน้ำหนักวัสดุ
เพื่อใช้ผสมคอนกรีตตาม มอก. 213-2520

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%

ค.2 การผสมคอนกรีต

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

ค.2.1 วิธีการผสมคอนกรีต

จะผสมด้วยเครื่อง เครื่องที่ใช้ทั่วๆ ไปจะเป็นแบบ Batch Mixer คือ ส่วนผสมจะถูกลำเลียงเข้าไปผสม จากนั้นจะถูกปล่อยออกแล้วจึงลำเลียงส่วนผสมอีกส่วนหนึ่งเข้าไปใหม่

ค.2.2 เครื่องผสมคอนกรีต

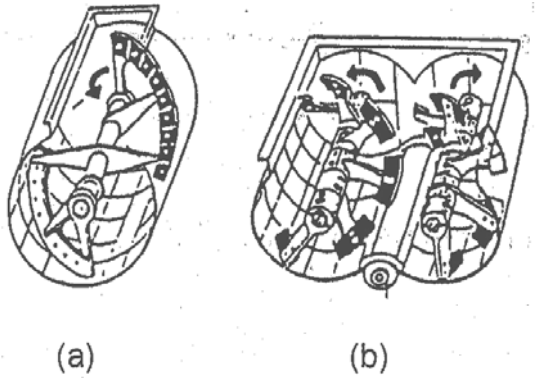
เครื่องผสมคอนกรีต ถ้าจำแนกตามลักษณะการผสมสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ

1) Batch Mixer เป็นเครื่องผสมที่ผสมครั้งละ 0.5 หรือ 1 ลูกบาศก์เมตร หรืออื่น ๆ ตามที่เครื่องสามารถจุได้
2) Continuous Mixer เครื่องผสมชนิดนี้จะผสมคอนกรีตอย่างต่อเนื่องส่วนมากจะออกแบบไว้ใช้กับงานเฉพาะ เช่น ใช้กับงานเทคอนกรีตถนน หรือสนามบิน เป็นต้น

แต่ถ้าจำแนกตามรูปลักษณะของเครื่องผสม สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ Drum Mixer และ Pan Mixer

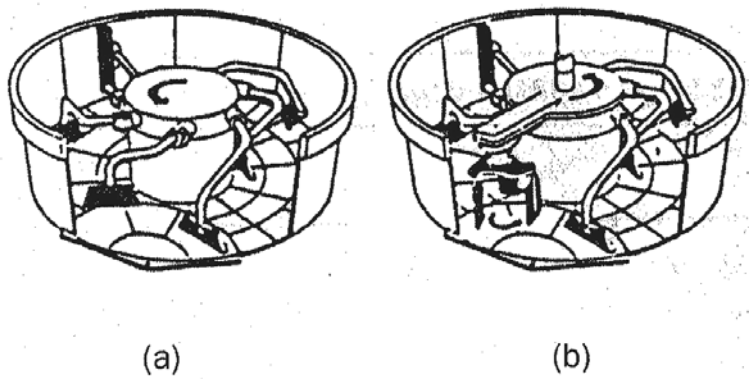
1) Drum Mixer สามารถจำแนกออกได้อีก 4 ประเภท คือ
   - Tilting Drum Mixer
   - Non-Tilting Drum Mixer

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



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

2.) Pan-Type Mixer



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

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

ค.2.3 การป้อนวัตถุดิบลงเครื่องผสม

ไม่มีกฎแน่นอนเกี่ยวกับลำดับของการป้อนวัตถุดิบลงเครื่องผสม แต่โดยทั่วไปจะมีขั้นตอนดังนี้

(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 ปูนซีเมนต์ น้ำ และใส่หินที่เหลือลงไปสุดท้าย เพื่อที่จะทำให้มอร์ต้าที่จับกันอยู่แตกตัวออก

ค.2.4 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 ค.2

ตารางที่ ค.2 เวลาขั้นต่ำในการผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา

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

ค.3 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 สายพานและคอนกรีตปั๊ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) ที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับเดียวกับบริเวณที่ต้องการจะเทคอนกรีต

- โดยการใช้รถเข็น เมื่อเข็นไปถึงที่ก่อสร้างแล้วควรจะเทใส่กระบะแล้วคลุกเคล้าอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำไปเท แต่ถ้าระยะทางสั้น ๆ ไม่จำเป็นต้องทำการคลุกเคล้าอีกสำหรับพื้นที่ที่ไม่มีการเสริมเหล็กจำนวนมากและยุ่งยากก็จัดการเทลงไปในแบบได้เลย
- โดยการใช้รถคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งเหมาะกับงานก่อสร้างที่รถผสมคอนกรีตสามารถเข้าเทได้ถึงหน่วยงาน

(2) ที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับสูงกว่าบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต

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

(3) ที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับต่ำกว่าบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต

- โดยการใช้รอกเข้าช่วย งานก่อสร้างอาคารหลาย ๆ ชั้นไม่สามารถนำเครื่องผสมคอนกรีตขึ้นไปผสมแต่ละชั้นได้ จำเป็นจะต้องผสมชั้นล่างแล้วใช้เชือกดึงถึงเหล็กที่มีคอนกรีตอยู่เต็มขึ้นไป ข้อควรระวังในการใช้วิธีใช้รอกนี้ นั่งร้านที่รับรอกต้องแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักคอนกรีตในถัง และการดึงเชือกได้

- โดยการใช้คนยืนเรียงแถว โดยใช้วิธีการส่งถังเหล็กที่บรรจุคอนกรีตขึ้นไปเป็นช่วง ๆ จากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่ง
- อาจใช้ลิฟท์ ทาวเวอร์เครน หรือรถเครน เป็นต้น

รูปที่ ค.4 การลำเลียงคอนกรีตโดยใช้ราง

รูปที่ ค.5 การลำเลียงคอนกรีตโดยใช้เครน

(4) ที่ผสมคอนกรีตอยู่ห่างจากบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต

ปัจจุบันสถานที่ก่อสร้างมีจำกัดไม่สามารถผสมคอนกรีต ณ หน่วยงานก่อสร้างได้ จำเป็นต้องใช้คอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งมีโรงงานที่ใช้ในการผสมคอนกรีตอยู่นอกหน่วยงานก่อสร้าง แล้วลำเลียงโดยรถผสมคอนกรีตสู่บริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต วิธีการปฏิบัติคือ คอนกรีตจะถูกผสมเสร็จเรียบร้อยจากโรงงานลำเลียงใส่รถ และจัดส่งไปที่หน่วยงานก่อสร้าง เมื่อถึงที่ก่อสร้างก็จะทำการผสมอีกครั้งก่อนเทลงแบบ หรือภาชนะที่รองรับ

(5) การใช้คอนกรีตปั๊ม

เหมาะสำหรับงานขนาดใหญ่ และต้องใช้ปริมาณของคอนกรีตเป็นจำนวนมาก และสถานที่ทำงานจำกัดโดยการต่อท่อส่ง ซึ่งท่อส่งนี้จะเลี้ยวหรือโค้งได้ตามต้องการสำหรับระยะทางที่จะปั๊มคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องปั๊ม

รูปที่ ค.6 การลำเลียงคอนกรีตโดยใช้คอนกรีตปั๊ม

(6) การใช้สายพานส่งคอนกรีต

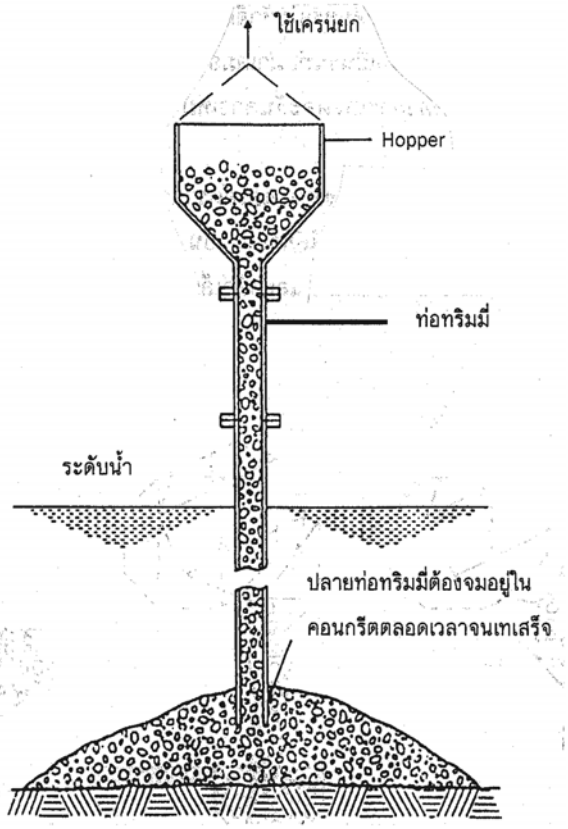
การใช้วิธีนี้สามารถใช้ได้ผลดีทั้งระดับที่อยู่ต่ำและสูงกว่า หรือระดับราบการแยกตัวของมวลรวมมีไม่มาก เพราะทุกจุดจะเคลื่อนไปพร้อมกันบนสายพาน สำหรับการส่งคอนกรีตด้วยวิธีนี้ต้องหาทางระวังการสูญเสียของน้ำ เนื่องจากแสงแดด และลม

(7) การใช้ท่ออัดส่งหรือฉีด (Shortcrete)

สำหรับวิธีนี้เหมาะกับงานทำท่ออุโมงค์ ห้องใต้ดิน โครงสร้างเปลือกบาง หรือโครงสร้างที่มีส่วนโค้งเว้ามาก ๆ โดยใช้เครื่องฉีด หรือพ่นคอนกรีตทีละน้อยสู่บริเวณที่ต้องการจากนั้นต้องทำการตบแต่งผนังคอนกรีตอีกครั้ง

(8) การเทคอนกรีตในน้ำ (Underwater Concreting)

ใช้ในงานก่อสร้างท่าเรือ หรือเขื่อน หรือรากฐานก่อสร้างในทะเล หรือแม่น้ำ ซึ่งต้องทำอย่างระมัดระวังเพื่อมิให้คอนกรีตแยกตัวก็ต้องใช้วิธีเทคอนกรีตลงไปตามท่อ หรือส่งคอนกรีตลงไปยังที่ก่อสร้างนั้นอย่างช้า ๆ



รูปที่ ค.7 การเทคอนกรีตในน้ำ

ค.4 การเทและการอัดแน่น

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

ค.4.1 การเทคอนกรีต

วัตถุประสงค์หลักของการเทคอนกรีตคือ การนำคอนกรีตไปให้ใกล้จุดที่ต้องการจะเทมากที่สุด โดยต้องทำอย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการแยกตัวและคอนกรีตสามารถถูกอัดแน่นได้อย่างเต็มที่ วิธีการเทคอนกรีตที่ถูกและไม่ถูกแสดงดังในรูปที่ ค.8 ถึงรูปที่ ค.14

การลำเลียงคอนกรีตอาจทำได้หลายวิธี ตั้งแต่การใช้รถเข็น Drumper รถผสมคอนกรีต หรือใช้ปั๊มโดยต้องการเทให้ตรงตามจุดที่ต้องการมากที่สุด แต่ในหลายกรณีไม่สามารถทำได้เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ข้างต้น ข้อเสนอแนะเหล่านี้ควรระลึกไว้เสมอ

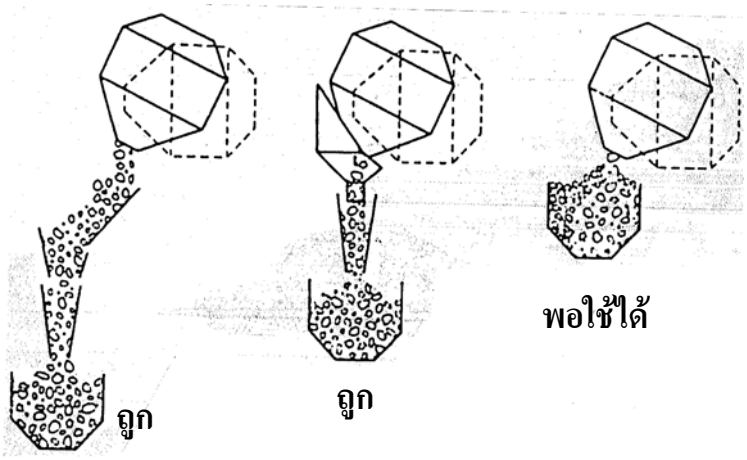
(1) หลีกเลี่ยงการใช้มือดันหรือใช้หัวจี้ดันคอนกรีตให้เคลื่อนที่

(2) ควรเทคอนกรีตให้เป็นชั้นที่สม่ำเสมอไม่ใช่กองเป็นภูเขา หรือเป็นชั้นตามแนวเอียง

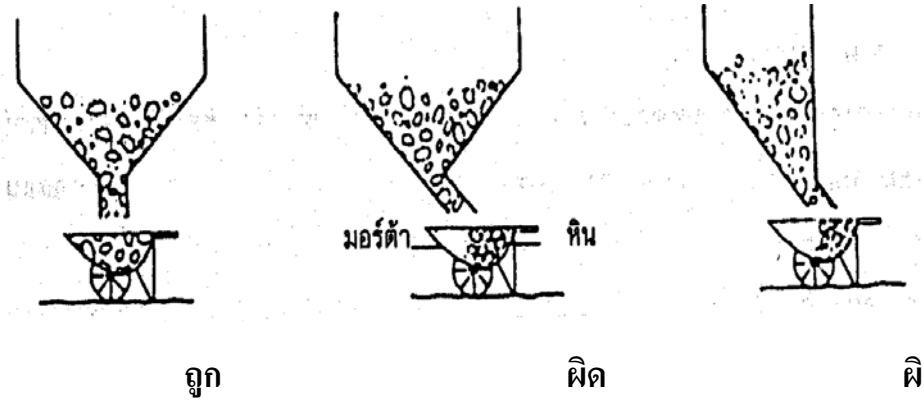
(3) ความหนาของการเทแต่ละชั้นควรเหมาะสมกับวิธีการจี้ เพื่อให้มั่นใจว่าฟองอากาศหนีออกจากด้านล่างของชั้นนั้น ๆ ได้

(4) อัตราการเทคอนกรีตลงแบบ และอัตราการเขย่าเข้าแบบควรเท่ากัน

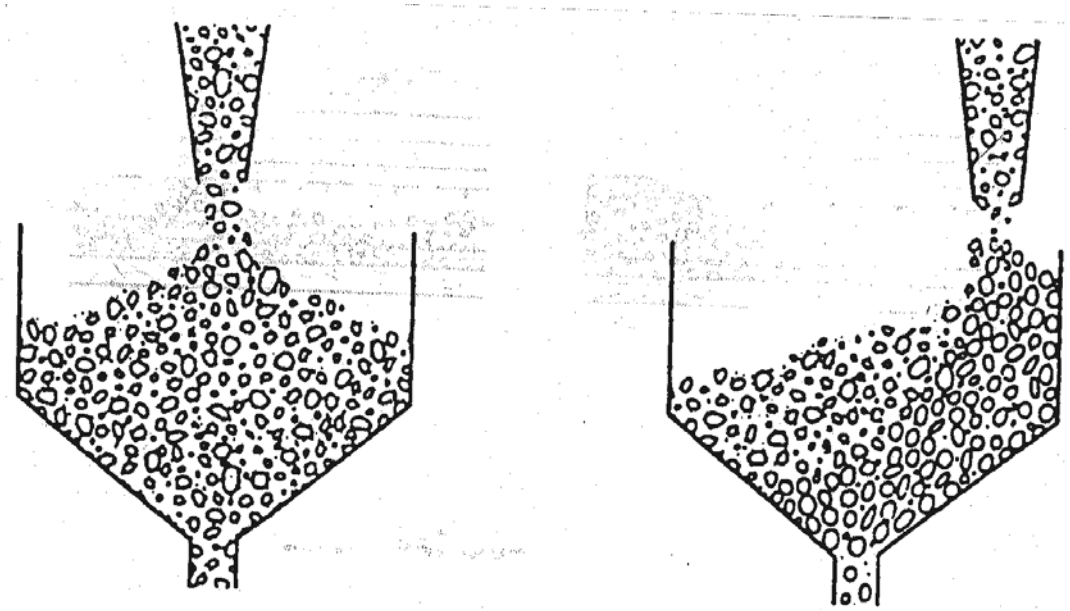
(5) โครงสร้างที่สามารถเห็นได้ชัดเจน เช่น เสา กำแพงของสะพาน หรือทางยกระดับ ควรเทคอนกรีตเข้าแบบด้วยอัตราอย่างน้อย 2 เมตร/ชั่วโมง และหลีกเลี่ยงการล่าช้าอันจะทำให้เกิด Cold Joint



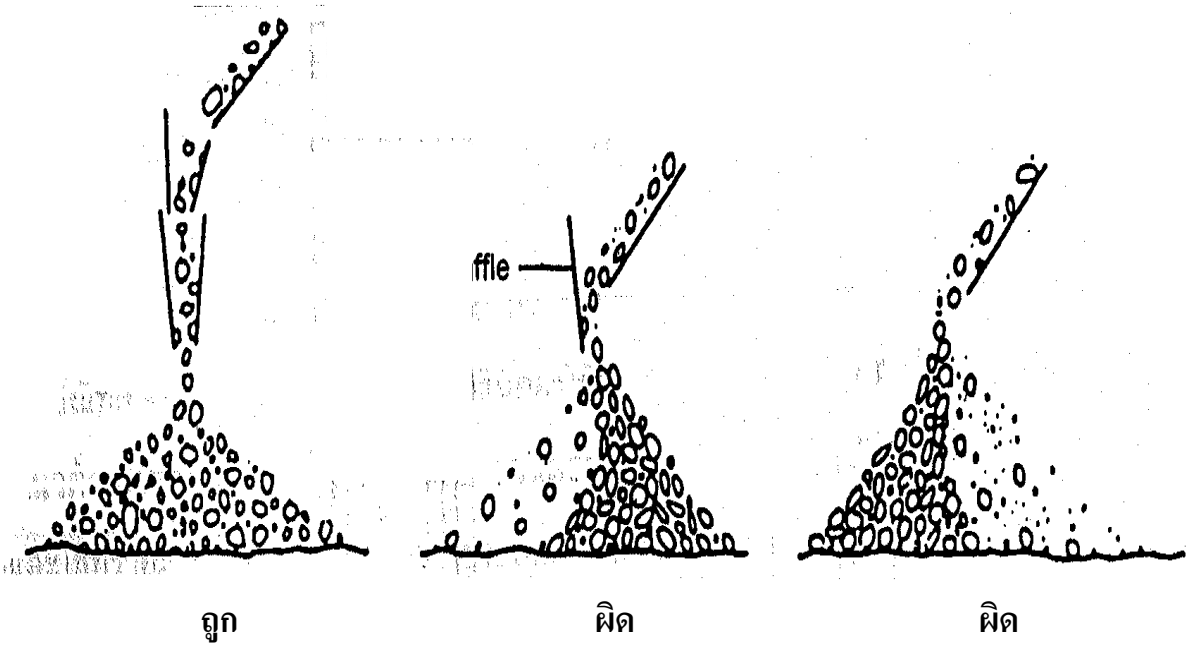
รูปที่ ค.8 การป้องกันการแยกตัวจากการเทคอนกรีตออกจากเครื่องผสม



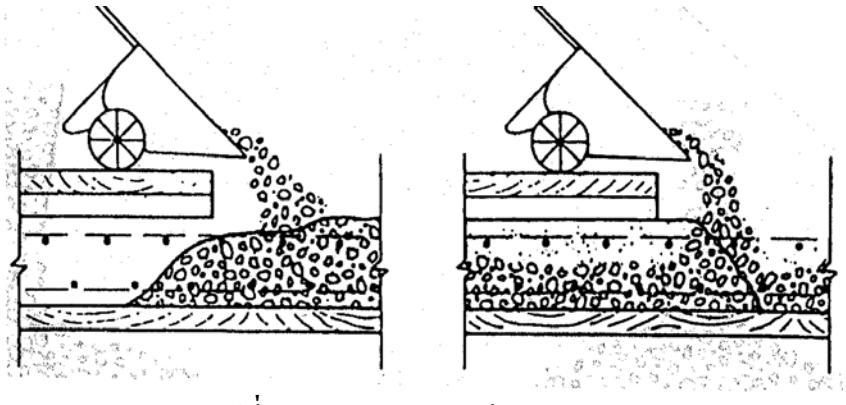
รูปที่ ค.9 การป้องกันการแยกตัวจากการเทคอนกรีตออกจาก Hopper



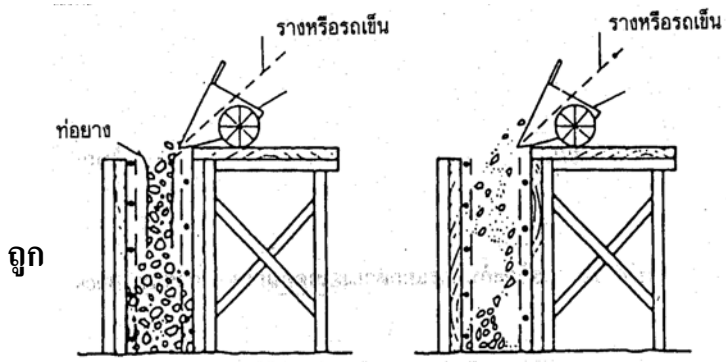
รูปที่ ค.10 การป้องกันการแยกตัวเมื่อเทคอนกรีตลงภาชนะ (Bucket)

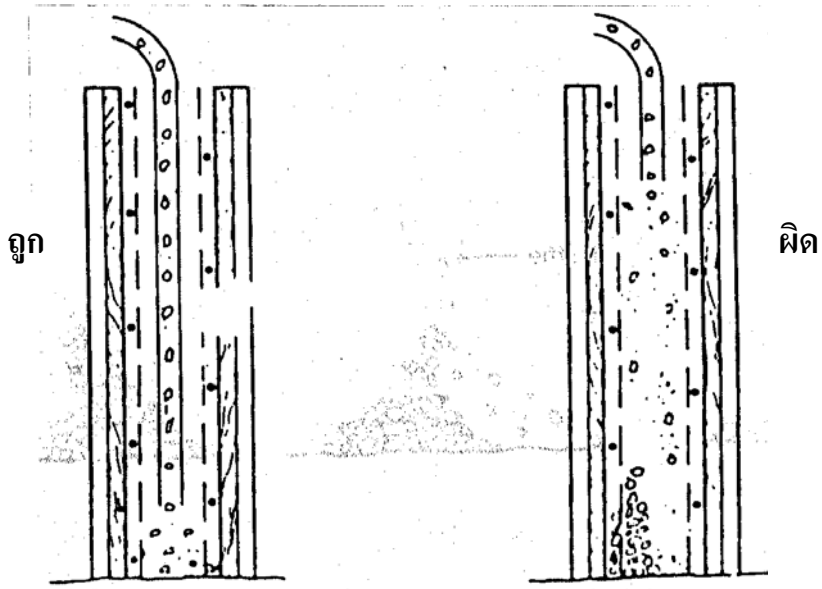


รูปที่ ค.11 การป้องกันการแยกตัวบริเวณปลายราง

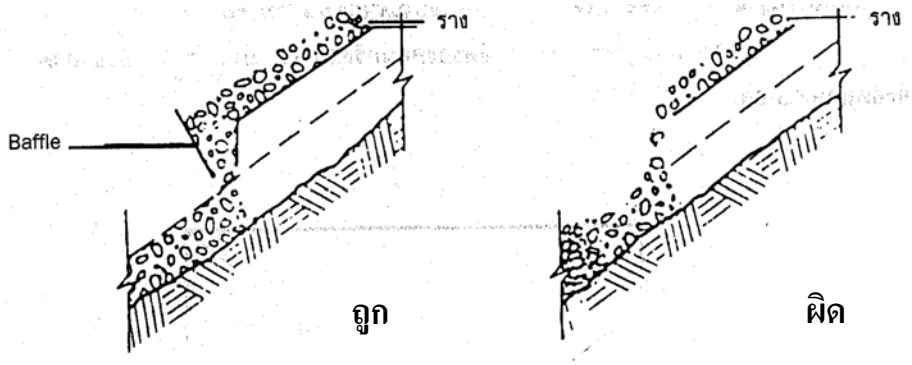


รูปที่ ค.12 การเทคอนกรีตจากรถเข็น





รูปที่ ค.13 การเทคอนกรีตสำหรับเสาหรือกำแพง



รูปที่ ค.14 การเทคอนกรีตพื้นเอียง

(6) คอนกรีตในแต่ละชั้น ควรจะได้รับการจี้ให้อัดแน่นก่อนที่จะเทคอนกรีตชั้นต่อ ๆ ไป และควรเทในขณะที่คอนกรีตชั้นล่างยังเหลวอยู่เพื่อจะได้โครงสร้างที่มีเนื้อเดียวกัน

(7) การเทคอนกรีตต้องระมัดระวังอย่าให้ไปปะทะไม้แบบ หรือเหล็กเสริม สำหรับโครงสร้างที่มีความสูงควรต่อท่อเทคอนกรีต (Tremie) เพื่อให้มั่นใจว่าเทคอนกรีตได้ถูกตำแหน่งที่ต้องการและลดการแยกตัว

(8) ควรเทคอนกรีตในแนวตั้งฉากกับแกนของโครงสร้าง

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

(1) Slip-Forming เป็นวิธีการเทคอนกรีตและการเขย่าแบบอย่างต่อเนื่อง โดยใช้คอนกรีตที่มีความสามารถเทได้ต่ำ ซึ่งต้องมีการควบคุมคุณสมบัติอย่างดี วิธีนี้สามารถเทคอนกรีตได้ทั้งในแนวตั้ง และแนวนอน Slip-Forming ในแนวตั้งจะเคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ รอให้คอนกรีตมีกำลังเพียงพอเพื่อรองรับคอนกรีตใหม่ที่เทลงอย่างต่อเนื่อง

(2) Tremie Method เหมาะสำหรับเทคอนกรีตในที่ลึกๆ ที่การอัดแน่นโดยวิธีทั่วไปทำไม่ได้ และในกรณีที่เทคอนกรีตในน้ำ การเทโดยวิธีนี้ต้องใช้คอนกรีตที่มีความสามารถเทได้สูง ไหลลงผ่านท่อด้วยแรงดึงดูดไปในแนวตั้งของท่อซึ่งจะดึงขึ้นทีละเล็กน้อย ส่วนผสมควรจะมีการเกาะยึดกันดีไม่แยกตัว โดยทั่วไปใช้ปริมาณซีเมนต์ที่สูงและใช้ทรายมากรวมทั้งมีการใช้น้ำยาช่วยเพิ่มความสามารถเทได้ด้วย

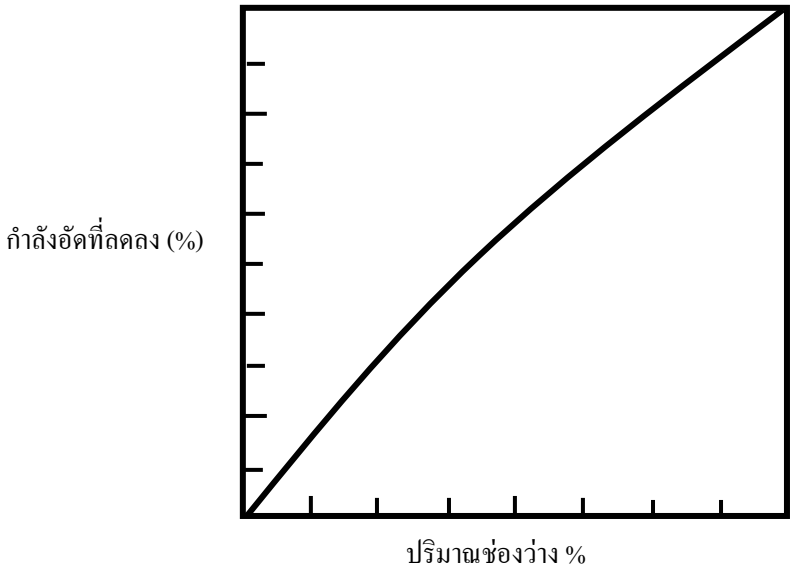
ค.4.2 การอัดแน่น

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 ค.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดที่ลดลงกับช่องว่างในเนื้อคอนกรีต

(2) ช่องว่างจะเพิ่มความสามารถซึมผ่านได้ของน้ำ (Permeability) ซึ่งส่งผลให้ความทนทานลดลง

(3) ช่องว่างที่อยู่ใต้เหล็กเสริมจะลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับมอร์ต้า

(4) ช่องว่างทำให้ผิวคอนกรีตดูไม่สวยงามหรืออาจก่อให้เกิดรูโพรง (Honeycombing)

สรุป คอนกรีตที่อัดแน่นอย่างสมบูรณ์จะมีเนื้อแน่นมีความแข็งแรง ทนทาน และป้องกันการซึมผ่านของน้ำสู่คอนกรีต ส่วนคอนกรีตที่อัดแน่นไม่ดีจะไม่แข็งแรงทนทานเกิดรูโพรง และมีความพรุนมาก

ค.4.3 เครื่องสะเทือนคอนกรีต

เครื่องสะเทือนคอนกรีต อาจแบ่งตามการใช้งานได้ 3 ประเภท คือ

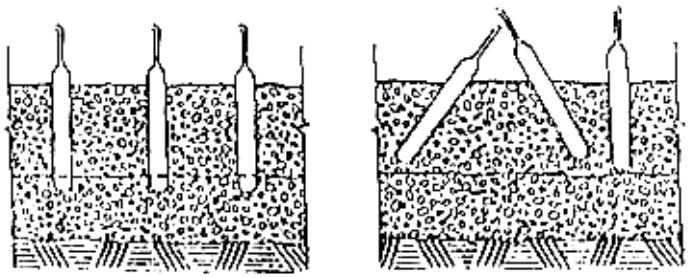
ค.4.3.1 สายจี้ (Internal Vibrators)

เป็นเครื่องมือที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ประกอบด้วยหัวจี้ (Poker) ซึ่งต่อสายมาจากมอเตอร์ วิธีใช้จะจุ่มหัวจี้ลงในคอนกรีตที่เหลวโดยหัวจี้จะปล่อยคลื่นความถี่ที่เหมาะสมลงไป บางที่เรียกเครื่องสะเทือนแบบนี้ว่า Poker Vibrator หรือ Immersion Vibrator

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

การใช้เครื่องสะเทือนคอนกรีตอย่างถูกต้อง

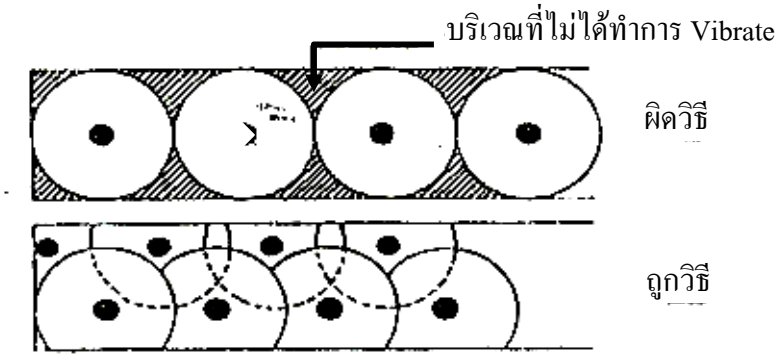
(1) ต้องจุ่มหัวจี้ลงไปตลอดความลึกของคอนกรีตสด และจี้ไปถึงชั้นล่างด้วย ถ้าคอนกรีตในชั้นล่างยังเหลวอยู่



ถูก ไม่ถูก

รูปที่ ค.16 การใช้หัวจี้

(2) การจี้ต้องให้ทั่วบริเวณคอนกรีต โดยต้องกำหนดระยะการจี้ที่ถูกต้องเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการอัดแน่น



รูปที่ ค.17 การจี้คอนกรีต

(3) เมื่อจี้เสร็จแล้ว ควรดึงหัวจี้ขึ้นอย่างช้า เพื่อให้ช่องเปิดที่เกิดจากหัวจี้ปิดตัวเองได้สนิท ไม่มีฟองอากาศยังอยู่

ตารางที่ ค.3 สรุปขนาดที่เหมาะสมของหัวจี้ (Poker) สำหรับงานแต่ละประเภท

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

ค.4.3.2 เครื่องเขย่าแบบภายนอก (External Vibrators)

เครื่องเขย่าแบบนี้ติดอยู่กับไม้แบบ ซึ่งวางอยู่บนจุดวางที่ยืดหยุ่นได้ ดังนั้นทั้งแบบหล่อและคอนกรีตจะถูกเขย่าไปพร้อม ๆ กัน ผลคือ คอนกรีตจะถูกอัดแน่นโดยการเขย่าของไม้แบบซึ่งไม้แบบประเภทนี้จะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงไม่บิดงอหรือมีการรั่วไหลของน้ำปูน

เครื่องเขย่าประเภทนี้จะใช้ความถี่ในช่วง 50-150 Hz ส่วนมากมักใช้งานคอนกรีตอัดแรงหรือโครงสร้างขนาดบางที่มีรูปร่างและความหนาไม่เหมาะสมที่จะใช้ Internal Vibrator

การทำงานต้องเทคอนกรีตใส่แบบเป็นชั้นบาง ๆ เนื่องจากฟองอากาศไม่สามารถถูกขับออกจากคอนกรีตที่มีความหนามาก ๆ ได้ และตำแหน่งของเครื่องเขย่าแบบอาจเปลี่ยนแปลงได้ในขณะเทคอนกรีต

ค.4.3.3 โต๊ะเขย่า (Vibrating Table)

เป็นวิธีการเขย่าที่เหมาะสมสำหรับงานชั้นล่างคอนกรีตอัดแรงโดยมีประโยชน์ในแง่ที่การเขย่าทำได้อย่างสม่ำเสมอ วิธีการนี้อาจพิจารณาได้เหมือนกับกล่องหรือไม้แบบยึดติดกับเครื่องเขย่าแบบซึ่งตรงข้ามกับ External Vibrators แต่หลักการในการเขย่าคอนกรีตและไม้แบบไปพร้อมๆ กันเหมือนกันความถี่ที่ใช้อยู่ในช่วง 25-120 Hz

ภาคผนวก ง การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต งานเทคอนกรีต และการบ่มคอนกรีต

ง.1 การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

(1) ตรวจสอบอัตราส่วนผสม การใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้ ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(2) ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด

(3) ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion) ความสะอาด ของหินหรือกรวด และทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(4) ตรวจสอบแบบหล่อให้ได้ ขนาด ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ มีความแข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน

(5) น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้

(6) ตรวจชนิด ขนาด จำนวน ระยะห่าง ระยะทาบ ตำแหน่งการทาบ ความสะอาด ไม่มีสนิมขุม ของเหล็กเสริม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและข้อกำหนด

(7) ตรวจระยะหุ้มคอนกรีต (Covering) ให้ตรงตามข้อกำหนด เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง (Bar Chair) รองรับให้แข็งแรงไม่ทรุด

(8) ตรวจตำแหน่ง ขนาดเหล็ก Dowel และช่องเจาะต่างๆ ให้ครบถ้วนตามแบบ

(9) ตรวจจำนวนคนงาน,ช่างและเครื่องมืออุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เพียงพอกับลักษณะงานและปริมาณงาน

(10) ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม

(11) ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีตและต้องเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

ง.2 งานเทคอนกรีต

(1) การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากช่างผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง

(2) ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วนผสมหรือข้อกำหนด

(3) หากใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ให้ควบคุมเวลาในการผสมคอนกรีตให้เหมาะสม ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว

(4) ตรวจสอบการขนส่งคอนกรีตจากรถขนส่งไปยังจุดที่ต้องการเทโดยไม่ให้เกิดการแยกตัว ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยในการเทคอนกรีตเพื่อป้องกันการแยกตัวในกรณีที่ระยะปล่อยคอนกรีตสูงเกินกว่า 2.00 เมตร

(5) ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump)ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด

(6) ควบคุมให้มีการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Vibrator) อย่างถูกวิธี

(7) ควบคุมการเก็บแท่งคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อทดสอบความสามารถการรับแรงอัด

(8) การเทคอนกรีตใหม่เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้งให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน พร้อมกับทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูน หรือน้ำยาประสานคอนกรีตบนผิวบริเวณที่เตรียมไว้แล้วเทคอนกรีตใหม่ทันที

(9) ขณะที่เทคอนกรีตต้องตรวจสอบเหล็ก Dowel และช่องเจาะต่างๆ ไม่ให้มีการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิม

(10) เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที

(11) การถอดแบบอนุญาตให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตครบอายุ ตามข้อกำหนด ต่อไปนี้

- แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
- แบบประกอบด้านล่างรองรับคาน พื้นบน 14 วัน
- ในกรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้นต้องไม่น้อยกว่าความสามารถรับแรงอัดที่ 28 วัน

(12) ภายหลังถอดแบบหากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีตให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อนายช่างควบคุมงานโดยทันทีเพื่อพิจารณาให้ความเห็นชอบก่อนดำเนินการ

(13) วัสดุที่ใช้สำหรับทำรอยต่อระหว่างตัวท่อเหลี่ยมและปากท่อ การติดตั้งต้องปฏิบัติให้ได้ตามมาตรฐานและข้อกำหนด

(14) ตรวจสอบผลการทดลองความสามารถรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด

(15) หากผลการทดลองไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ให้ผู้ควบคุมงานรายงานสำนักฯเจ้าของงานทราบโดยทันที

ง.3 การบ่มคอนกรีต

คอนกรีตต้องการน้ำสำหรับปฏิกิริยาไฮเดรชัน ถ้ามีน้ำในส่วนผสมคอนกรีตมากเกินไปจะทำให้เกิดช่องว่างในโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์มากและการรับกำลังจะลดลง ดังนั้นจึงพยายามที่จะใส่น้ำให้พอเพียงกับการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์เท่านั้น ในทางทฤษฎีปริมาณในอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.42 ก็พอดีที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สมบูรณ์ แต่ในทางปฏิบัติส่วนผสมต้องการน้ำมากกว่าเพราะมีการสูญเสียในระหว่างการทำปฏิกิริยา ถ้าผสมน้ำน้อยไป เช่นที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่า 0.45 ถึง 0. 50 คอนกรีตจะใช้น้ำจนแห้งเรียกว่า “การแห้งตัว” (Self- Desiccation) ต่อจากนั้นคอนกรีตจะไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้อีกยกเว้นว่าจะได้น้ำมาจากภายนอก นอกจากนี้คอนกรีตอาจสูญเสียน้ำจากการระเหยหรือจากการดูดซับน้ำของไม้แบบรองคอนกรีต หากมีการสูญเสียน้ำจนทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในคอนกรีตลดลงต่ำกว่าร้อยละ 80 คอนกรีตจะเกิดการแห้งตัว ดังนั้นจะต้องมีการบ่มคอนกรีตเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและการพัฒนากำลังของคอนกรีตเกิดขึ้นอย่างเต็มที่ โดยการป้องกันการสูญเสียน้ำของคอนกรีตในขณะที่เทด้วยการกำบังลมและกำบังแดดและบ่มอย่างต่อเนื่องเมื่อคอนกรีตก่อตัวและแข็งตัวแล้ว นอกจากนี้การบ่มยังสามารถช่วยควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตได้ด้วย

ง.3.1 ระยะเวลาของการบ่ม

การบ่มทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นได้ต่อเนื่อง โครงสร้างของเนื้อซีเมนต์จะแน่นขึ้นและคอนกรีตจะมีความแข็งแรง การบ่มเปียกตลอดเวลาให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงสุด ขณะที่การบ่มในอากาศทำให้การเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างช้าและมีค่าต่ำกว่า กรณีที่บ่มเปียกมาก อิทธิพลของการบ่มมีผลมากในคอนกรีตที่มีพื้นผิวมาก เช่น แผ่นพื้น ถนน และคอนกรีตที่ขนาดเล็ก เนื่องจากน้ำระเหยออกได้ง่าย นอกจากนี้คอนกรีตที่ผสมวัสดุปอซโซลาน เช่น เถ้าถ่านหินและตะกรันเตาถลุงเหล็ก ต้องการการบ่มที่นานกว่าเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดได้ช้า ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เพสต์จะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้นแต่ยังคงมีอยู่ต่อไปตราบที่ยังมีน้ำให้ทำปฏิกิริยาอยู่ ดังนั้นจึงควรบ่มคอนกรีตให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้

เวลาสำหรับการบ่มคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ ที่สำคัญได้แก่ประเภทของปูนซีเมนต์และอุณหภูมิ ปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันได้เร็วและมีการพัฒนากำลังได้เร็วจะต้องการเวลาสำหรับการบ่มน้อยกว่าปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยาช้า และที่อุณหภูมิต่ำคอนกรีตจะทำปฏิกิริยาได้ช้าและต้องการเวลาบ่มนานขึ้น อุณหภูมิของคอนกรีตที่ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสพบว่ามีการพัฒนากำลังที่อายุต้นๆค่อนข้างต่ำ หากคอนกรีตมีอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส การพัฒนากำลังของคอนกรีตที่อายุต้นมีค่าน้อยมาก และที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่าคอนกรีตแทบไม่มีการพัฒนากำลังเลย ดังนั้นมาตรฐานสำหรับการบ่มคอนกรีตของสถาบันคอนกรีตอเมริกา ACI 308 (2) จึงระบุว่าเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 10 องศาเซลเซียส ให้มีการบ่มคอนกรีตอย่างน้อย 3 7 และ 14 วัน เมื่อใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ตามลำดับ สำหรับมาตรฐาน BS 8110

ระบุเวลาในการบ่มขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์และสภาพของอากาศ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

ตารางที่ ง.1 เวลาในการบ่มสำหรับสภาพอากาศต่างๆ ตาม BS 8110

สภาพของอากาศ	เวลาในการบ่ม		
	5-10 °C	10 °C ขึ้นไป	5-25 °C
1. ความชื้นสัมพัทธ์เกินร้อยละ 80 มีกำบังแดดและลม - ปูนซีเมนต์ทุกชนิด	ไม่ต้องการดูแลเป็นพิเศษ		
2. ความชื้นสัมพัทธ์เกินร้อยละ 50 ถึง80 มีกำบังแดดและลมปานกลาง			
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ,3, และ 5	4	3	60/ (t+10)
- ปูนซีเมนต์อื่น	6	4	80/ (t+10)
3. ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 50 ไม่มีกำบังแดดและลม			
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ,3, และ 5	6	4	80/ (t+10)
- ปูนซีเมนต์อื่น	10	7	140/ (t+10)

หมายเหตุ ในกรณีใช้สูตรในการคำนวณ t คืออุณหภูมิการบ่มองศาเซลเซียส

ง.3.2 การบ่มปกติ

การบ่มปกติสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ การป้องกันการสูญเสียน้ำและการบ่มเปียกหรือบ่มชื้น การบ่มเปียกที่ดีคือการบ่มในน้ำซึ่งจะให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้นโดยเฉพาะที่อัตราส่วนต่อปูนซีเมนต์ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ ค.2 เนื่องจากคอนกรีตต้องการน้ำในการทำปฏิกิริยาต่อไป

ง.3.2.1 การบ่มโดยการป้องกันการสูญเสียน้ำ

ในการเทคอนกรีตต้องป้องกันการสูญเสียน้ำของคอนกรีต ซึ่งสามารถทำได้โดยการทำกำบังแดดและกำบังลม มาตรฐาน BS 8110 ระบุว่าถ้ามีการกำบังแดดและลมและความชื้นสัมพัทธ์เกินร้อยละ 80 ก็ไม่จำเป็นต้องมีการบ่มหรือการดูแลเป็นพิเศษ อย่างไรก็ตามการวัดและการควบคุมความชื้นในภาคสนามทำได้ยากจึงควรที่จะมีการบ่มคอนกรีต การบ่มโดยการป้องกันการสูญเสียน้ำจะใช้วัสดุที่เป็นแผ่นคลุมหรือใช้สารบ่มคอนกรีตพ่นทับหน้าคอนกรีตเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำออกจากคอนกรีต

(1) แผ่นกันความชื้น

การบ่มโดยป้องกันการสูญเสียความชื้นสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่นิยมกันคือการใช้แผ่นกันความชื้น เช่น แผ่นพลาสติกประเภทโพลิเอทิลีน (Polyethylene) หรือกระดาษกันน้ำ (Water Proof Paper หรือ Kraft) คลุมหรือหุ้มโดยวางให้แนบกับผิวของคอนกรีต

รอยต่อระหว่างแผ่นจะต้องวางให้สนิทและมีระยะเหลื่อมมากพอเพื่อป้องกันความชื้นหนีออกไป สำหรับคอนกรีตที่ต้องการผิวหน้าที่ดี เช่น พื้นที่ชั้นดาดฟ้าหรือผิวถนน เมื่อตกแต่งผิวหน้าเสร็จและคอนกรีตแข็งตัวก็สามารถปูแผ่นกันความชื้นได้แต่ต้องทำด้วยความระมัดระวัง ในระหว่างการบ่มควรตรวจดูความเรียบร้อยของแผ่นกันความชื้น แผ่นกันความชื้นที่เสียหายจะต้องซ่อมแซมหรือปิดทับให้เรียบร้อย นอกจากนี้หากตรวจสอบพบว่าผิวหน้าของคอนกรีตแห้งจะต้องรดน้ำเพิ่ม การใช้แผ่นกันความชื้นจะทำให้ความชื้นภายใต้แผ่นเกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำโดยเฉพาะภายใต้แผ่นพลาสติกที่ย่นซึ่งจะทำให้สีของผิวหน้าคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้กับกรณีที่ต้องการโชว์ผิวหน้าคอนกรีตการใช้แผ่นกันความชื้นยังสามารถช่วยป้องกันความเสียหายของคอนกรีตโดยเฉพาะที่ผิวหน้าในระหว่างการก่อสร้างด้วย รายละเอียดข้อกำหนดของแผ่นกันความชื้นมีอยู่ในมาตรฐาน ASTM C171

(2) สารบ่มคอนกรีต

สารบ่มคอนกรีต (Curing Compound) สามารถใช้ในการป้องกันการสูญเสียน้ำของคอนกรีตได้ รายละเอียดข้อกำหนดของสารบ่มคอนกรีตมีอยู่ในมาตรฐาน ASTM C 309 การบ่มด้วยวิธีนี้เริ่มต้นด้วยการพ่นสารบ่มคอนกรีตให้เป็นแผ่นบางๆ (Membrane) คลุมผิวหน้าคอนกรีตไว้ สารที่นิยมใช้จะเป็นสารบ่มคอนกรีตสีขาว เนื่องจากสามารถตรวจสอบความสมบูรณ์ในการเคลือบผิวหน้าคอนกรีตได้ง่ายรวมทั้งสีขาวสามารถสะท้อนแสงและไม่เกิดปัญหาเรื่องการสะสมความร้อนนอกจากนี้ยังมีสารบ่มที่มีลักษณะโปร่งแสงแต่มีสีเพื่อที่จะสามารถตรวจสอบความสมบูรณ์ในการเคลือบ และสีดังกล่าวจะจางหายไปเองเมื่อเวลานานขึ้น

ในการพ่นสารบ่มต้องเตรียมผิวหน้าของคอนกรีตให้มีความชื้นอยู่ ถ้าผิวแห้งจะต้องให้ความชื้นกับคอนกรีตและถ้าคอนกรีตแห้งมากจะต้องขังน้ำบนผิวคอนกรีตดังกล่าวอย่างน้อย 2 ถึง 3 ชั่วโมงเพื่อให้คอนกรีตชื้น โดยเฉพาะในส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์สูงซึ่งต้องการน้ำสำหรับทำปฏิกิริยามาก การพ่นสารบ่มให้พ่นสองชั้นในทิศทางตั้งฉากหรือขวางกัน และถ้าอากาศแห้งมากให้เคลือบสองชั้นสองเที่ยว ทั้งนี้เพราะการเคลือบเพียงสองชั้นยังอาจมีรูเล็กๆ ขนาดรูเข็มเหลืออยู่ ซึ่งในสภาวะอากาศที่แห้งมากน้ำจะสามารถระเหยออกได้ง่าย ในการพ่นสารบ่มลงบนผิวคอนกรีตต้องควบคุมให้สม่ำเสมอและควบคุมปริมาณสารบ่มที่ใช้ต่อพื้นที่ ในช่วงสัปดาห์แรกควรตรวจสอบและซ่อมแซมแผ่นบางที่เคลือบผิวหน้าคอนกรีตทุกวัน ทั้งนี้สามารถใช้ทรายคลุมทับผิวหน้าของแผ่นบางเพื่อให้สามารถทำงานได้ต่อไปโดยไม่เกิดความเสียหายต่อแผ่นบาง

ง.3.2.2 การบ่มชื้น

วิธีการบ่มคอนกรีตที่นิยมทำกันได้แก่การใช้น้ำพ่น การขังน้ำ และการใช้กระสอบชื้นหรือวัสดุเปียกชื้นคลุมทับคอนกรีต เนื่องจากผิวหน้าของคอนกรีตที่สัมผัสกับอากาศจะสูญเสียความชื้นได้ง่ายจึงควรให้ความชื้นหรือน้ำทันทีที่คอนกรีตแข็งแรงพอหรือทันทีที่ถอดแบบ น้ำที่ใช้ในการบ่มคอนกรีตควรเป็นน้ำที่ไม่ก่อให้เกิดคราบสกปรกบนผิวหน้าของคอนกรีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องการโชว์ผิวหน้าคอนกรีต รอยคราบสกปรกเหล่านี้มักเกิดจากการใช้น้ำที่มีสนิมเหล็กสูงหรือใช้น้ำที่ไหลผ่านท่อเหล็กในการฉีดน้ำเพื่อบ่มคอนกรีต การใช้สายยางในการลำเลียงน้ำเพื่อใช้ในการบ่มคอนกรีตสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ดี

การใช้กระสอบเปียกเพื่อบ่มคอนรีตเป็นที่นิยมกันมากเพราะสามารถใช้บ่มคอนกรีตหลังจากที่ตบแต่งผิวเสร็จไม่นานโดยไม่ทำอันตรายแก่ผิวหน้าคอนกรีต ในกรณีที่ใช้น้ำพ่นบนผิวคอนกรีตควรใช้กระสอบหรือผ้าเปียกปูทับผิวหน้าคอนรีตก่อนเพื่อป้องกันการชะล้างของผิวหน้าคอนกรีตอันเนื่องมาจากแรงฉีดของน้ำ และควรทิ้งกระสอบหรือผ้านี้ไว้จนแน่ใจว่าคอนกรีตแข็งตัวและไม่เป็นอันตรายเนื่องจากการชะล้างของน้ำแล้ว ควรใช้กระสอบ 2 ชั้นเพื่อให้สามารถเก็บความชื้นได้นานและต้องให้ความชื้นแก่คอนกรีตตลอดระยะเวลาที่ระบุในการบ่ม ทั้งนี้การใช้ท่อ หรือสายยางเจาะรูวางบนบริเวณด้านบนของคอนกรีตเพื่อจ่ายน้ำให้แก่กระสอบหรือผ้าเป็นวิธีการที่ดีมากวิธีหนึ่งที่ทำให้กระสอบหรือผ้าเปียกชื้นตลอดเวลา ควรปล่อยให้กระสอบหรือผ้าเปียกแห้งไปเองเมื่อครบเวลาของการบ่ม หลังจากนั้นคอนกรีตจะค่อยๆแห้งและไม่ค่อยเกิดการแตกร้าว กระสอบหรือวัสดุคลุมหรือผ้าคลุมที่ใช้เพื่อการบ่มคอนกรีตควรสะอาดและไม่ก่อให้เกิดคราบสกปรกติดอยู่บนผิวหน้าคอนกรีต การใช้กระสอบใหม่มีแนวโน้มว่าอาจเกิดคราบสกปรกเกาะบนผิวหน้าคอนกรีตได้เพราะการละลายของสารเคมีจากกระสอบ กระสอบเก่าที่ใช้บรรจุพืชผลมักจะมีความสกปรกสูงจึงไม่ควรนำมาใช้เพราะจะเกิดคราบสกปรกบนผิวหน้าคอนกรีตได้ง่าย

วัสดุเปียกชื้นที่นิยมใช้ทับผิวหน้าเพื่อบ่มคอนกรีต คือ ดินและทรายเปียกเพราะหาได้ง่าย ทั้งนี้ควรหลีกเลี่ยงการใช้หินหรือก้อนดินขนาดใหญ่เพราะน้ำในดินหรือในหินดังกล่าวจะระเหยออกได้ง่ายทำให้จุดดังกล่าวแห้ง และต้องทำให้ดินและทรายเปียกอยู่ตลอดเวลาขณะที่ทำการบ่มอยู่ นอกจากนี้ยังสามารถใช้แบบหล่อหรือไม้แบบป้องกันการสูญเสียน้ำและช่วยบ่มคอนกรีตได้โดยการฉีดน้ำลงบนคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วและแบบหล่อให้ชุ่มน้ำอย่างเพียงพอ เพื่อให้น้ำสามารถไหลลงภายในแบบหล่อคอนกรีตหรือไม้แบบเพื่อเป็นการบ่มชื้น

ภาคผนวก จ ปัญหาของเสาเข็มตอก การคำนวณกำลังรับน้ำหนัก การทดสอบน้ำหนักบรรทุก การทดสอบความสมบูรณ์ของเข็มเจาะ การตรวจสอบความสมบูรณ์ของหลุมเจาะ และความปลอดภัย

จ.1 ปัญหาของเสาเข็มตอก

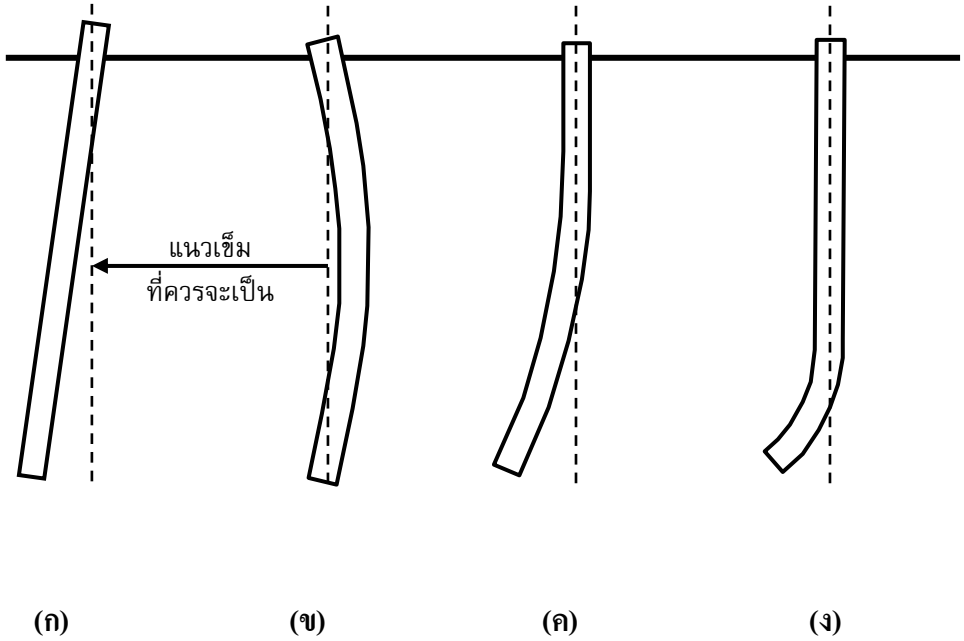
สามารถอธิบายถึงสาเหตุและการแก้ไขได้ดังนี้

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 อันเนื่องมากจากการจำกัดการเคลื่อนไหวระหว่างเสาเข็มกับปั้นจั่นโดยประกับหัวเสาเข็มหรือช่องว่างระหว่างหมวกกับตัวเสาเข็ม 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 ไม่ไปสุดที่ปลายเสา เข็มทำให้เกิด Stress มากเกินไปบริเวณหัวเสาเข็ม	- การผลิตเสาเข็ม และ การควบคุมให้เป็นไปตามแบบ
	- มี Spiral หรือ Stirrup Reinforcement ไม่พอ	- เพิ่มเหล็กเสริม Spiral หรือ Stirrup ส่วนที่ยังไม่พอเพียง โดยเฉพาะส่วนหัว
	- หัวเสาเข็มแตกจากการที่เครื่องจักรเหยียบย่ำ	- หลีกเลี่ยง

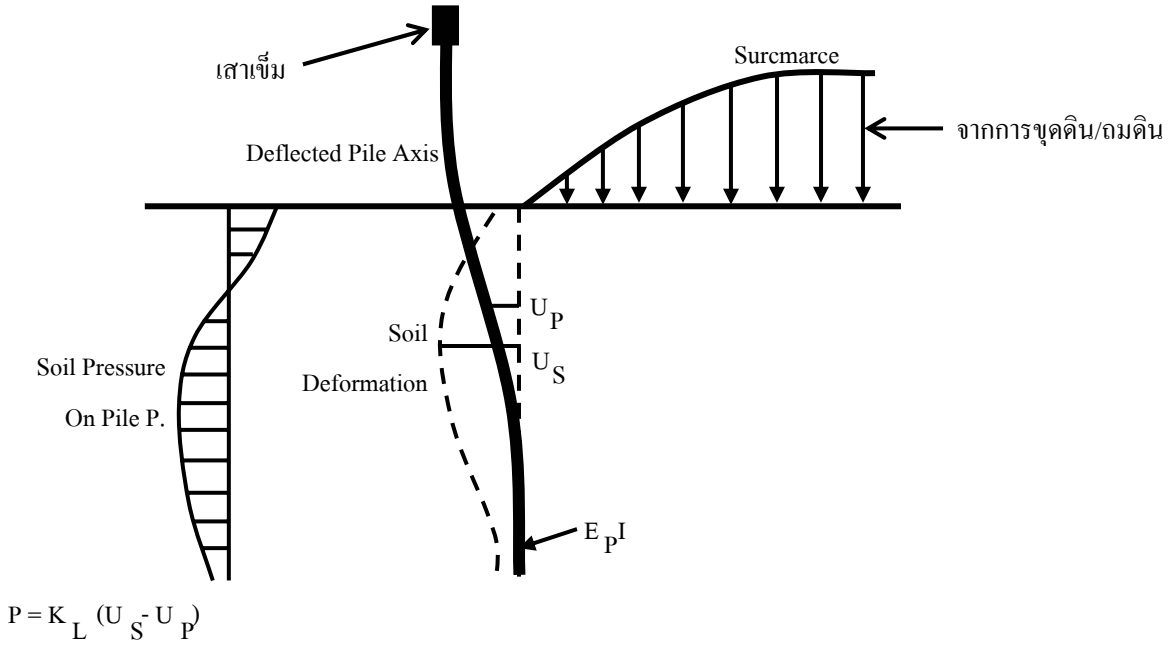
ปัญหา	สาเหตุ	การป้องกัน การแก้ไข
3. เสาเข็มบิ่น	- Over Bending Stress จากความไม่ราบเรียบของพื้นที่หน้าตัดของหัวเสาเข็ม อาจเนื่องจากด้านบนและด้านข้างของเสาเข็มคอนกรีต มี Chamfer ไม่เท่ากัน	- ควบคุมการผลิตเสาเข็มให้เป็นไปตามแบบ
	- Over Bending Stress จากการกระแทกของปั้นจั่นลงพื้นที่หน้าตัดด้านบนของเสาเข็มไม่เต็มพื้นที่	- 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 Black Hoe ดึง เพื่อให้ถึง Cut Off Elevation ทำอันตรายกับเสาเข็ม	- หลีกเลี่ยงการใช้ Back Hoe ใช้ใบมีดตัดหัวเสาเข็ม
5. เสาเข็มผุ	- เสาเข็มไม้ผุจากสภาพอากาศและธรรมชาติที่แปรปรวน เช่น ระดับน้ำใต้ดิน	- กรณีที่เสาเข็มไม่จมดินทั้งหมด ให้ใช้เสาเข็มไม้ที่ได้ทำ Preservative Treatment แล้ว
	- เสาเข็มเหล็กผุ จาก สภาพธรรมชาติ เช่น จากน้ำทะเล	- จัดทำ Corrosion Protection ให้เพียงพอก่อนใช้งาน
	- เหล็กเสริมในเสาเข็มเป็นสนิม เนื่องจากรอยร้าวในเสาเข็ม	- ป้องกันไม่ให้เสาเข็มแตกหรือร้าว เพิ่ม Covering

ปัญหา	สาเหตุ	การป้องกัน การแก้ไข
6. เสาเข็มร้าว	- การบ่ม คอนกรีต ไม่เพียงพอคอนกรีตยังไม่ได้อายุ	- ควบคุมการผลิต
	- การขนส่ง การวางเสาเข็ม การยกไปใช้งานไม่อยู่ในตำแหน่งจุดยกตามแบบ	- ควบคุม Handling Stress
	- 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

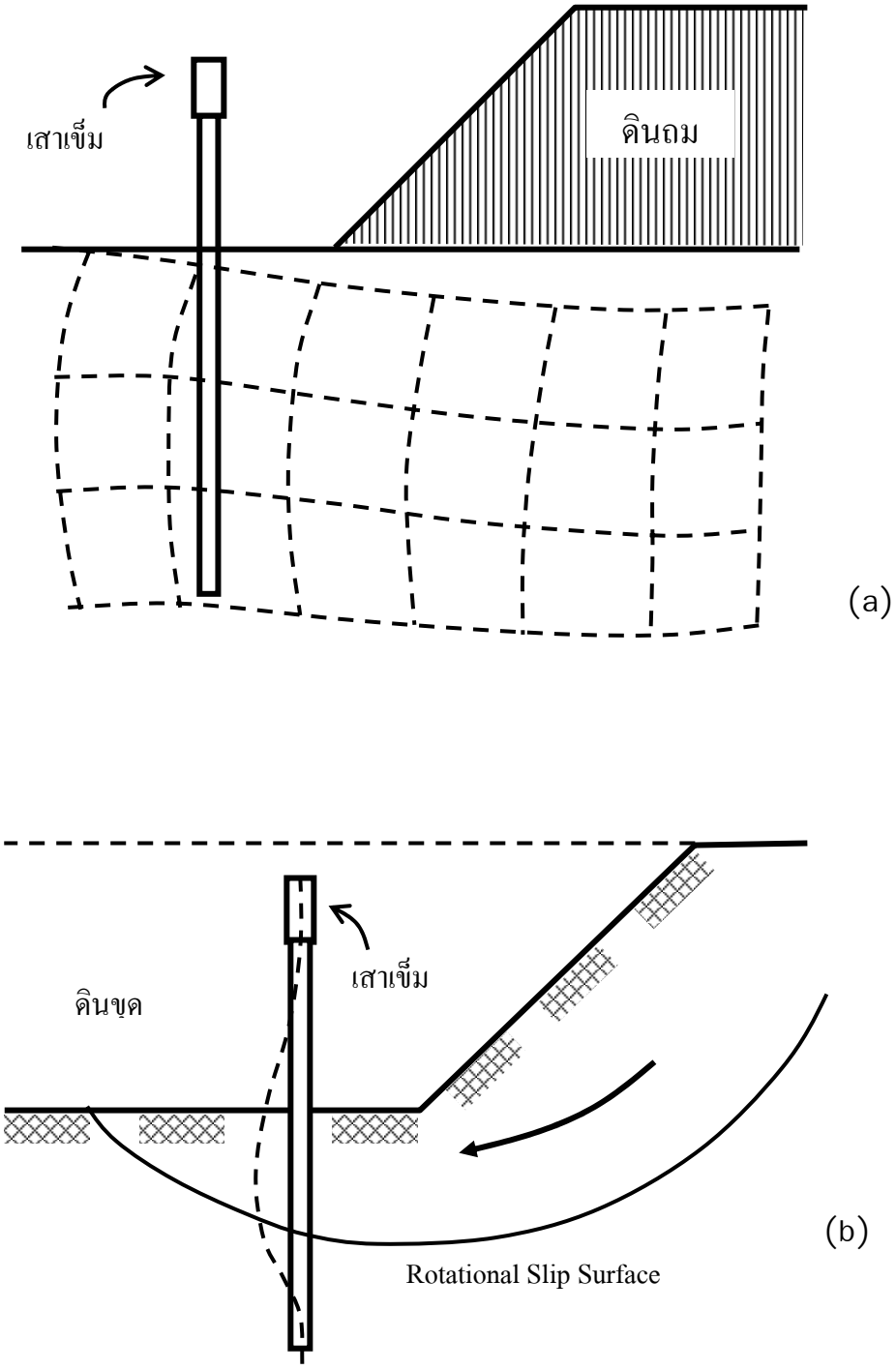
ปัญหา	สาเหตุ	การป้องกัน การแก้ไข
9. เสาเข็มไม่ได้ Blow / เข็มไม่ได้ Set	- ขึ้นอยู่กับ Criteria ที่ต่างกันส่วนใหญ่ที่มาจาก Dynamic Formula จากปั้นจั่น และอุปกรณ์ การตอกทำให้ค่าที่ได้ Over Conservative เช่น การใช้ Hiley Formula	- ใช้ Wave Equation Analysis of Pile ในการวิเคราะห์หาจำนวน Blow Count โดยอาจเปรียบเทียบกับสูตร 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
	- ความผิดพลาด จากวิศวกรผู้ออกแบบ/คุมงานที่ระดับชั้นทรายจาก Soil Boring เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา Tip Elevation เข็มจะเสียหายเนื่องจากพยายามเข่นเสาเข็มให้ลงไปถึง Tip ที่ต้องการทำให้เกิด Overstress ทำอันตรายต่อเสาเข็ม	- Redesign/Analysis 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 จ.1 เสาเข็มหนีศูนย์ (ก) เสาเข็มตรงแต่แกนเสาเข็มเอียง
(ข) เสาเข็มงอที่หัว และปลาย
(ค) ปลายเสาเข็มงอ
(ง) ปลายเสาเข็มคดเนื่องจากชั้นหินที่ปลาย



รูปที่ จ.2 ปัญหาเสาเข็มเอียงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดินทางด้านข้าง



รูปที่ จ.3 ปัญหาเสาเข็มเอียงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดินทางด้านข้าง

จ.2 ตัวอย่าง การคำนวณหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยใช้ Hiley's Formula

(ตามแบบมาตรฐาน Sheet No.177)

สูตร $R = \frac{n.W.H.E}{S+C/2}$

$C = C_1 + C_2 + C_3$

เมื่อ R = Ultimate Bearing Capacity

$n = \frac{W + Pe^2}{W + P}$

W = Weight of Drop Hammer (Ton)

P = Weight of Pile (Ton)

e = Coefficient of Pile Head and Cushion

= 0.25 for Concrete Pile with Jute Mat Head Cushion

H = Hammer Drop Height (cm.)

E = Equipment Loss Factor = 1.00 for Free Falling Hammer

= 0.80 for Drop Hammer with Friction Winch

C = Temporary Compression

C_1 = Pile Shortening for Pile Length of L = $0.72 \frac{R}{A} L$ (cm.)

C_2 = Compression in Pile Head Cushion of L_2 = $1.1 \frac{R}{A} L_2$ (cm.)

C_3 = Compression in the Soil Underneath and Surrounding the Pile = $3.6 \frac{R}{A}$ (cm.)

L = Length of Pile (m.)

L_2 = Thickness of Pile Head Cushion (m.)

S = Penetration (cm.)

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

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

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

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

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

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

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

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

R = 98.84 ตัน ใช้ 99 ตัน

จ.3 วิธีการทดสอบการบรรทุกน้ำหนักของเสาเข็ม

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

กรณีที่ไม่มีข้อกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น การทดสอบให้กระทำเป็น 2 ชุด ได้แก่

<u>ชุดแรก</u> ให้บรรทุกน้ำหนักถึง 1.25 เท่าของค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่คำนวณไว้แล้วลดลงเหลือศูนย์

<u>ชุดที่สอง</u> ให้บรรทุกน้ำหนักใหม่จากศูนย์ถึง 2.5 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยแล้วลดลงเหลือศูนย์

ขั้นตอนการทดสอบ

การจดบันทึกลักษณะรายละเอียดของเสาเข็มที่ทดสอบให้ปฏิบัติดังนี้

- <u>ชุดแรก</u>
  - 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 ที่ 1 2 4 8 15 30 45 และ 60 นาที ที่น้ำหนัก 0% ให้บันทึกต่อไปทุกๆ ชั่วโมงจนกระทั่งค่าของการคืนตัวคงที่
- <u>ชุดที่สอง</u>
  - 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%
- บันทึกค่าคืนตัวของเสาเข็ม 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 หรือเหล็กเสริมในเสาเข็มสมอถึงจุดครากก่อนที่ควร
- หัวเสาเข็มร้าว หรือชำรุด
- การตั้งระดับพื้นฐานไม่ถูกต้อง หรือมีการกระทบกระเทือนต่อระดับและมาตรวัด
- คานโก่งตัวมากเกินไป หรือเสาเข็มสมอลอยตัว

ให้ยกเลิกการทดสอบและผลการทดสอบนั้นๆ เสีย และดำเนินการทดสอบการบรรทุกน้ำหนักอีกชุดหนึ่ง ตามคำแนะนำของวิศวกรผู้ควบคุมงานโดยผู้รับจ้างจะต้องออกค่าใช้จ่ายในการนี้เองทั้งสิ้น

ความประลัยของเสาเข็ม

เสาเข็มจะถือว่าประลัยเมื่อเกิดกรณีใดกรณีหนึ่งดังต่อไปนี้

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

ความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็ม

หากไม่ระบุเป็นอย่างอื่น ให้คิดค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ยอมให้เสาเข็มทดสอบตามเกณฑ์ต่อไปนี้

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

ทั้งนี้แล้วแต่ว่าค่าไหนจะน้อยกว่ากัน

จ.4 การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มเจาะ (Cross Hole Sonic Logging Test)

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

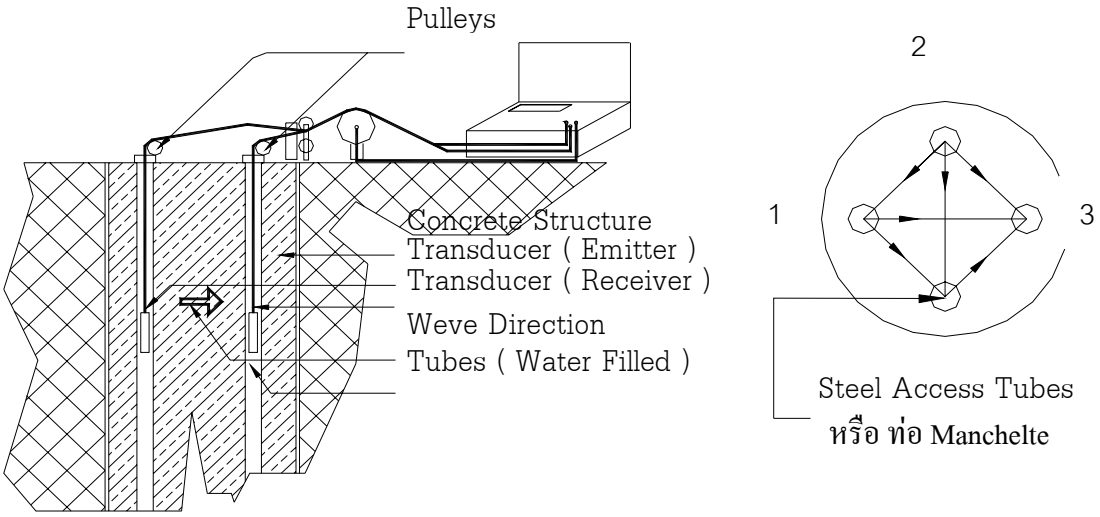
การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน เพราะสะดวกรวดเร็วและสามารถทำการทดสอบได้โดยตลอดเสาเข็มทั้งต้น สามารถทดสอบได้ทั้งในโครงสร้างเสาเข็มเจาะ Caisson เสาเข็ม Barrette และโครงสร้างกำแพงกันดิน (Diaphragm Wall) ซึ่งโครงสร้างในลักษณะนี้มีสาเหตุของสภาพความไม่สมบูรณ์ที่อาจเกิดขึ้น พอสรุปได้ดังนี้

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

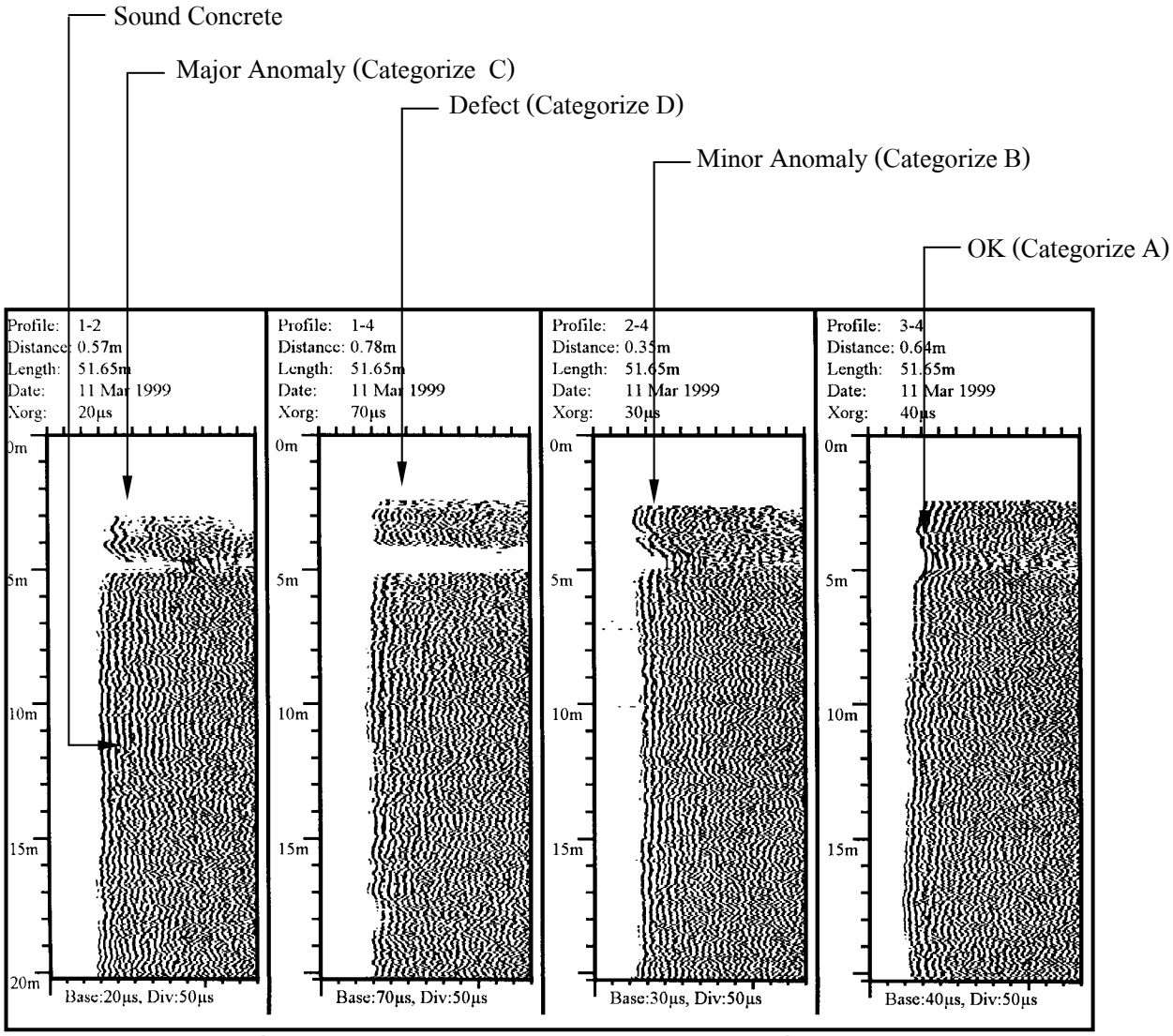
การทดสอบจะกระทำหลังจากที่เทคอนกรีตแล้วเสร็จประมาณ 14 วัน หรือเมื่อกำลังอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างเป็นไปตามข้อกำหนดได้ โดยทดสอบผ่านท่อ Manchette ที่เตรียมไว้ จำนวนท่อขึ้นอยู่กับขนาดเสาเข็มเจาะ

รูปที่ จ.4 การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มเจาะโดยวิธี Sonic Logging Test

รูปที่ จ.5 เครื่องมือทดสอบ Sonic Logging Test



รูปที่ จ.6 รูปการติดตั้งเครื่องมือทดสอบ



รูปที่ จ.7 รูปตัวอย่างแถบสีแสดงสภาพเนื้อคอนกรีตที่ทำการทดสอบ

จ.5 การตรวจสอบความสมบูรณ์ของหลุมเจาะ (Sonic Caliper Measurement)

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

รูปที่ จ.8 การตรวจสอบสภาพผนังหลุมเจาะ (Drilling Monitor) โดยใช้เครื่องมือ KODEN

รูปที่ จ.9 ผลการตรวจสอบสภาพผนังหลุมเจาะที่พิมพ์จากเครื่อง KODEN

จ.6 ความปลอดภัย

หลังจากเทคอนกรีตเสาเข็มเสร็จแต่ละต้นในกรณีที่เจาะดินทิ้งไว้โดยไม่มีผู้ดูแล ผู้รับจ้างจะต้องใช้แผ่นเหล็กปิดรูเจาะทุกรู หรือใช้กรงเหล็กครอบไว้หรือวิธีอื่นใดที่เหมาะสมเพื่อป้องกันมิให้คนตกลงไปได้ นอกจากนั้นต้องมีอุปกรณ์ให้ความปลอดภัย เช่น กระเช้า กว้าน และอื่นๆ เพื่อป้องกันอันตรายและช่วยเหลือคนงานในกรณีฉุกเฉินหรือเกิดอุบัติเหตุ

ภาคผนวก ฉ แผ่นยางรองคาน

ฉ.1 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

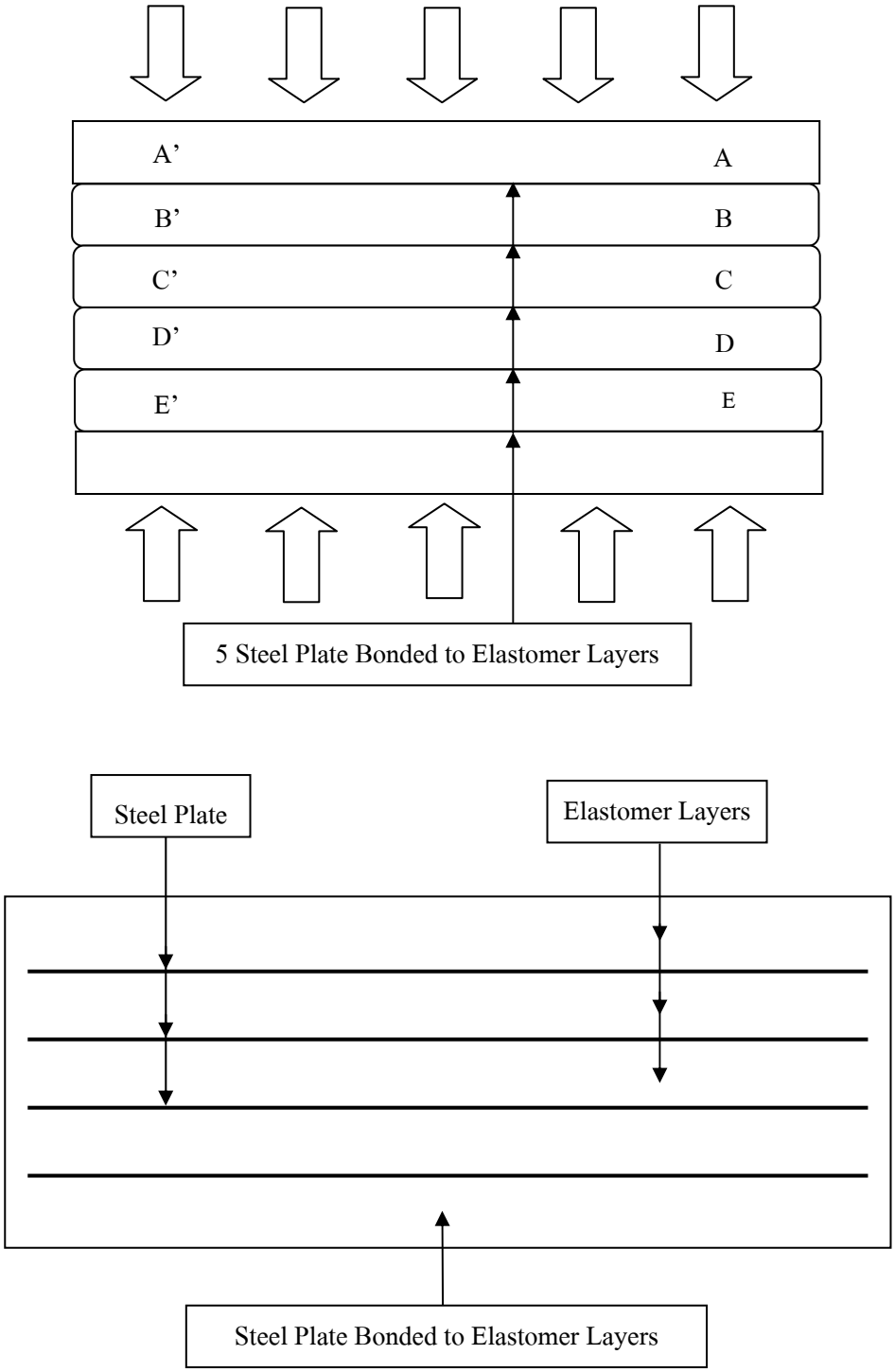
ก่อนทำการทดลองกดแผ่น Elastomeric Bearing ให้ค่อยๆเพิ่ม Load ถึง Max Design Load ตามที่ Design ไว้แล้วค่อยๆ ปล่อย Load ลงทีละน้อย วิธีการนี้เพื่อให้แผ่น Bearing ปรับตัวก่อนแล้วจึงจะเริ่มการทดลอง โดยเพิ่ม Load ขึ้นทีละน้อยและจดบันทึกค่า Load และ Deflection เมื่อ Load ถึง 1/3 ของ Max Design Load ให้จดค่า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

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

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

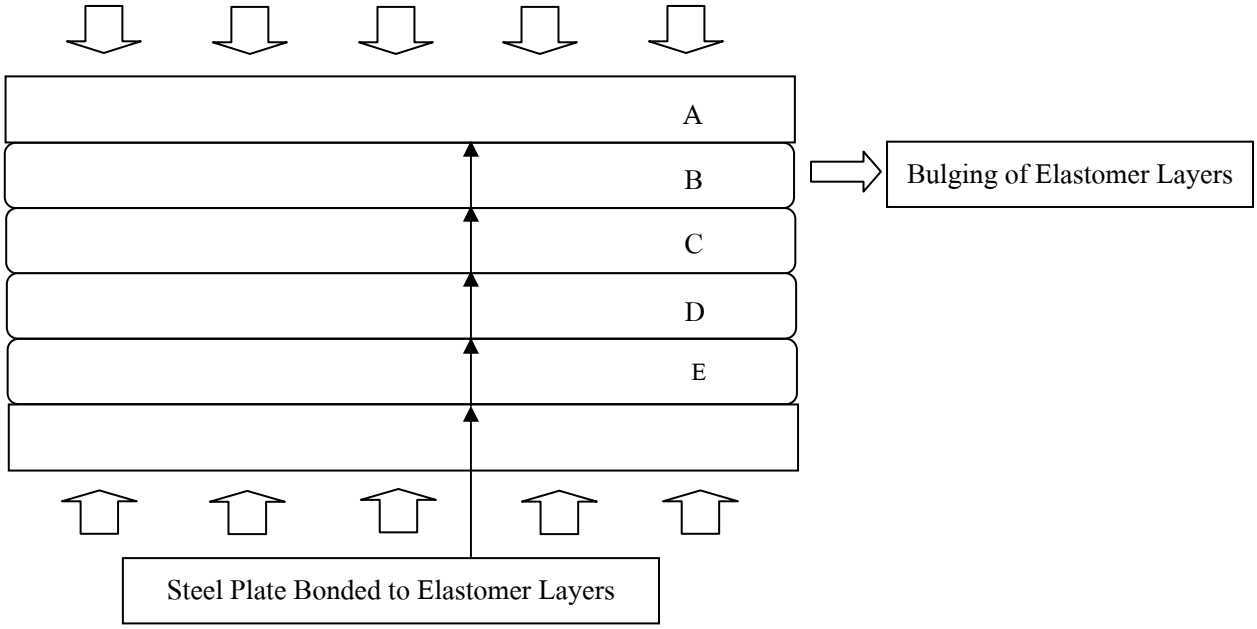
- ตรวจสอบว่าการเรียงแผ่นเหล็กภายในแผ่น Bearing วางเรียงตรงตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้หรือไม่ และสามารถตรวจนับจำนวนแผ่นเหล็กเสริมภายในแผ่น Bearing ได้

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



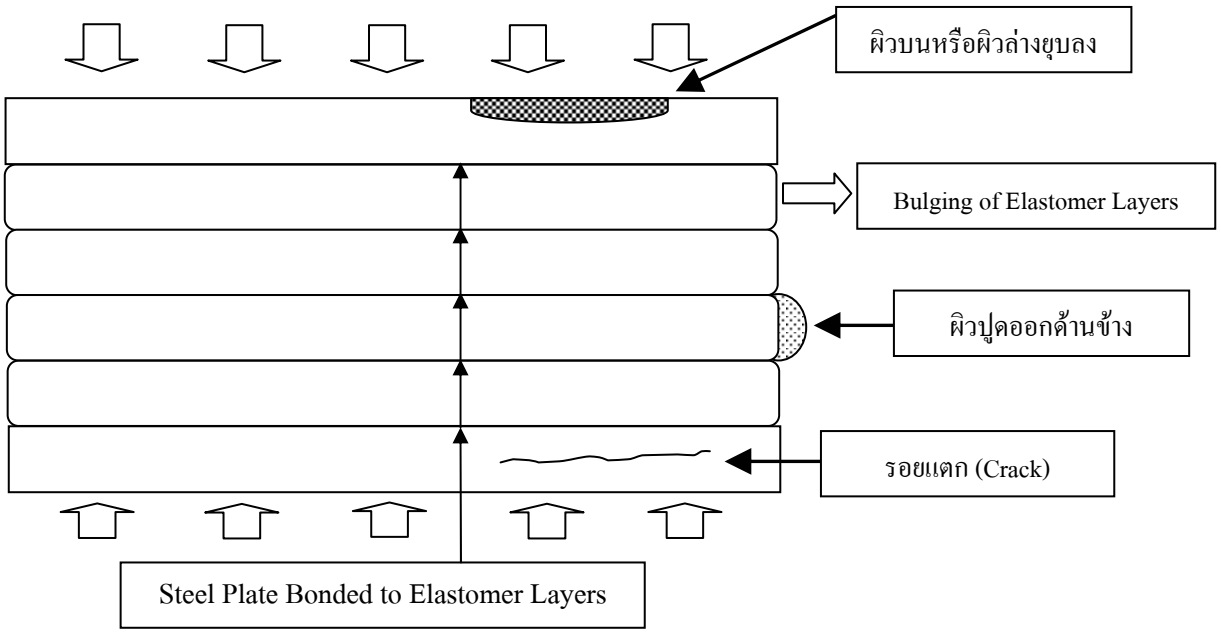
รูปที่ ฉ.1 Steel Plate Bonded to Elastomer Layers

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



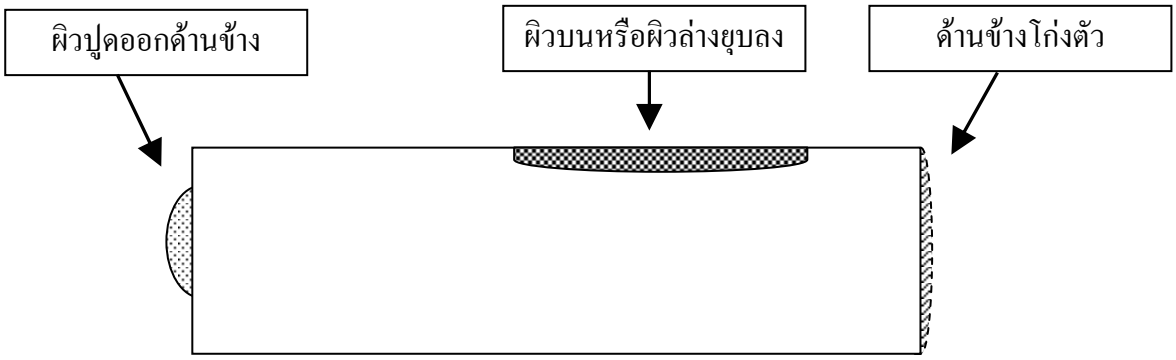
รูปที่ ฉ.2 Loaded Bearing Pad

- กรณีไม่เกิด Bond Failure at the Steel / Elastomer ลักษณะการพอง (Bulging) ทุกอันจะโป่งออกมาเท่าๆ กัน หากมี Bond Failure ที่ใด Bulging ที่อยู่ติดกับแผ่นเหล็กนั้นจะโป่งออกมากกว่าที่อื่น ดังรูปที่ ค-3



รูปที่ ฉ.3 แสดงลักษณะความเสียหายของแผ่นยางในกรณียางมีคุณภาพไม่คงที่

- ตรวจสอบรอยแตก (Crack) บนแผ่นยางขณะทดสอบ และภายหลังการทดสอบ ดังรูปที่ ค-3
- กรณีเกิด Surface Defects เนื่องจากการผลิตหรือภายหลังการทดสอบ โดยสังเกตจากผิวหน้าของแผ่นยางยุบลงหรือโป่งออก ดังรูปที่ ค-4



รูปที่ ฉ.4 แสดง Surface Defects ของแผ่นยางทั่วไป

ฉ.2 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 ค่า Deflection Cycle1และ Cycle 2	ขณะคลาย Load		เปรียบเทียบ ค่า Deflection Cycle 1 และ Cycle 2
Load (kN)	**Deflection (mm)**		**Load (kN)**	**Deflection (mm.)**	
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 หรือ ความหนาของแผ่น 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	**Chlorpene**
Tensile Strength, min	15.5 N/mm^2	15.5 N/mm^2
Elongation at break, min		
At Hardness 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

ภาคผนวก ช คานคอนกรีตอัดแรง

ช.1 การหล่อคานอัดแรงแบบ STRAIGHT TENDON

ตรวจสอบก่อนเริ่มงาน

1. คุณภาพวัสดุ คุณภาพส่วนผสมคอนกรีต สภาพแท่นหล่อ และแบบหล่อ
2. ประสิทธิภาพของอุปกรณ์และเครื่องมือ เช่น เครื่องผสมคอนกรีต เครื่องมือทดลองแท่งคอนกรีต เครื่องมือดึงลวดอัดแรง
3. รายการคำนวณเกี่ยวกับการดึงลวดอัดแรง

ตรวจสอบขณะดำเนินการ

1. ตรวจสอบตำแหน่งของลวดอัดแรงก่อนและหลังการดึง
2. ตรวจสอบการดึงลวดอัดแรงเป็นไปตามรายการคำนวณหรือไม่ หากผิดพลาดมากกว่า ± 5 % ต้องหาสาเหตุและแก้ไขให้ถูกต้อง
3. เก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อตรวจสอบคุณภาพตามข้อแนะนำในคู่มือฯ
4. จัดลำดับการตัดลวดอัดแรง

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)

$D = PL / AE$

$P = P_F + P_1$

$P_F = P - P_1$

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)

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

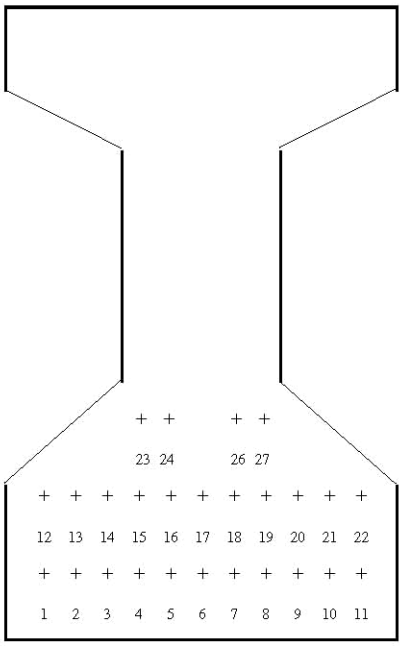
Plus slipage of 0.5 cm.

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

ช.2 การหล่อคานอัดแรงแบบ DRAPED TENDON

ตรวจสอบก่อนเริ่มงาน

1. คุณภาพวัสดุ คุณภาพส่วนผสมคอนกรีต สภาพแท่นหล่อ และแบบหล่อ
2. ประสิทธิภาพของอุปกรณ์และเครื่องมือ เช่น เครื่องผสมคอนกรีต เครื่องมือทดลองแท่งคอนกรีต เครื่องมือดึงลวดอัดแรง
3. รายการคำนวณเกี่ยวกับการดึงลวดอัดแรง

ตรวจสอบขณะดำเนินการ

1. ตรวจสอบตำแหน่งของลวดอัดแรงก่อนและหลังการดึง
2. ตรวจสอบการดึงลวดอัดแรงเป็นไปตามรายการคำนวณหรือไม่ หากผิดพลาดมากกว่า ± 5 % ต้องหาสาเหตุและแก้ไขให้ถูกต้อง
3. เก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อตรวจสอบคุณภาพตามข้อแนะนำในคู่มือฯ
4. จัดลำดับการตัดลวดอัดแรง

CALCULATION OF STRAND ELONGATION

SUBJECT : ELONGATION OF STRAIGHT STRAND Ø 12.7 MM. 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.

$D = PL / AE$

$P = P_F + P_1$

$P_F = P - P_1$

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)

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

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 Ø12.7 MM. 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.

$D = PL / AE$

$P = P_F + P_1$

$P_F = P - P_1$

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.

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

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

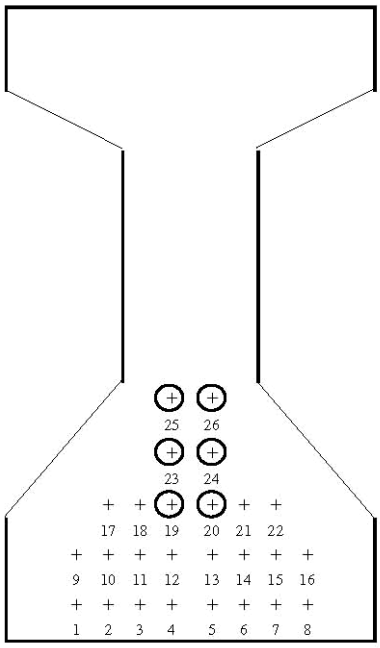
Plus slipage of 0.5 cm.

Total Elongation = 77.73 + 0.5 = 78.23 cm.

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

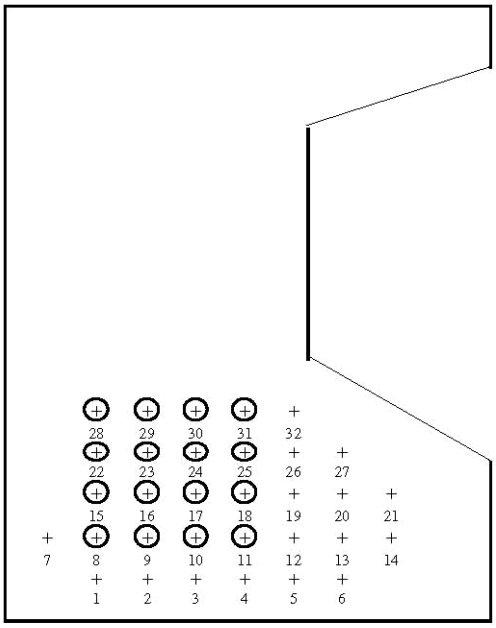
Note*Calibration attached.

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

ช.3 การคำนวณค่าการยืดตัว

งานคานคอนกรีตอัดแรงแบบดึงภายหลัง (Post-Tensioned Girder)

วิธีการคำนวณค่า Elongation

ใช้สูตร $P_1 = P_0 * e^{-(ua+kx)}$

โดยที่ X = ระยะทางจากปลายด้านที่ทำการดึงลวดเหล็กอัดแรง

P_1 = แรงดึงภายในลวดเหล็กอัดแรงที่ระยะ X

P_0 = แรงดึงระบุที่ปลายด้านที่ทำการดึงลวดเหล็กอัดแรง (Jacking Force)

e = ค่าฐานของ Napierian Logarithms = 2.718283

u = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างลวดเหล็กอัดแรงและ Duct

a = ผลรวมของมุมที่เปลี่ยนแปลงจากปลายด้านที่ทำการดึงถึงระยะ X เป็นเรเดียน

k = Wobble Friction Coefficient เนื่องจากความคลาดเคลื่อน ในการวาง Profile ของ Duct

ค่าสัมประสิทธิ์ของ u และ k ขึ้นอยู่กับชนิดของลวดและท่อร้อยลวด และองค์ประกอบอื่นอีก

จากนั้น $P_m = (P_o - P_1) / (ua+kx)$

และค่า Elongation = $(P_m * X * 1{,}000{,}000)/(E \text{ of Strand} * \text{No of Strand} * \text{Area of Strand})$, 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 $P_1 = P_0 * e^{-(ua+kx)}$

$= 2500 \text{ X } e^{-(015 \text{ x } 0.1 + 0.0008 \text{ x } 27.1)} = 2409.9$ kN

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

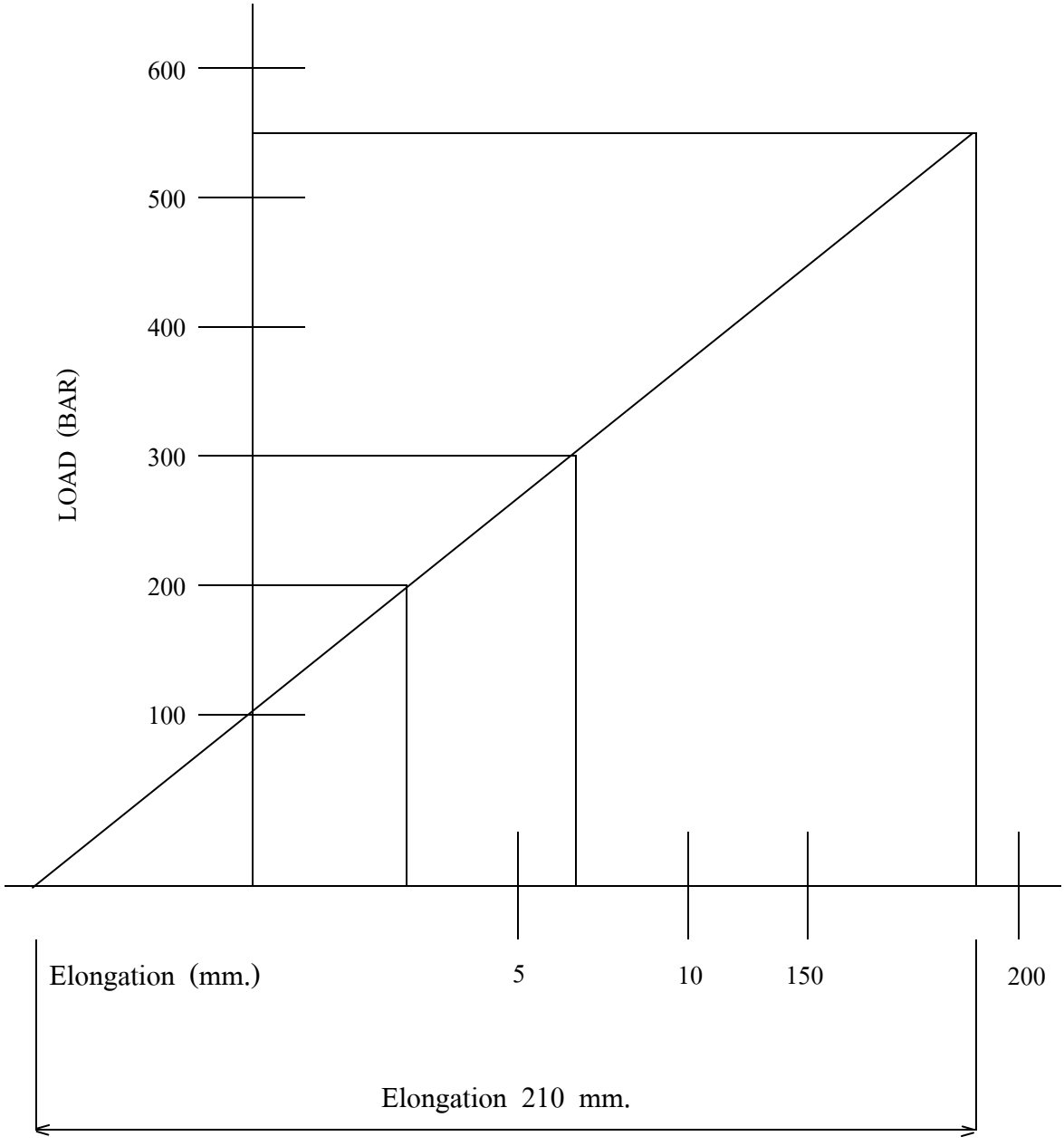
$$= \frac{(2500 - 2409.9)}{(0.15 \text{ x } 0.1 + 0.0008 \text{ x } 27.1)} = 2456.4 \text{ kN}$$

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

$$= \frac{(2456 \text{ x } 27.1 \text{ x } 1000000)}{(195000 \text{ x } 12 \text{ x } 141.7)} = 201 \text{ mm.}$$

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



ช.4 การปรับหัวคาน

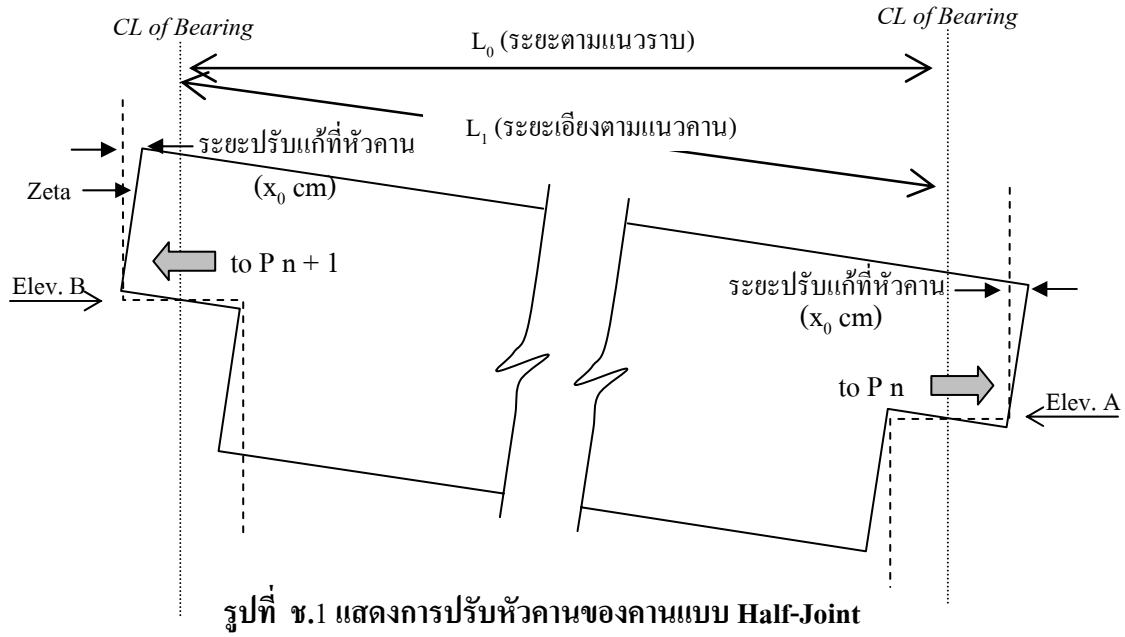
ตำแหน่งของคานคอนกรีตอัดแรงที่จะติดตั้งระหว่างแต่ละช่วงตอม่อ จะวางตัวในแนวเอียงหรือราบตามแต่ Vertical Grade ของช่วงนั้นๆ แต่การวางตัวของแผ่นยางรองคาน (Bearing Pad) ที่จะรองรับการถ่ายน้ำหนักจากคานจะต้องวางตัวอยู่ในแนวราบ (Horizontal Plane) เสมอ เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักที่กระทำได้เต็มพื้นที่ของแผ่นยางและน้ำหนักลงสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น

ดังนั้นในกรณีวางคานในแนวเอียง ต้องปรับระดับหัวคานในขณะหล่อคานคอนกรีต เพื่อให้หัวคานที่วางบนแผ่นยางรองคานอยู่ในแนวราบเช่นกัน ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดแรงกดทับแผ่นยางรองคานด้านใดด้านหนึ่งเกิดเป็น Point Load ทำให้แผ่นยางรองคานเกิดความเสียหายได้

วิธีการคำนวณปรับหัวคาน มีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณหาค่าระดับบนศูนย์กลางของแผ่นยางรองคานทั้ง 2 ด้านของช่วงตอม่อที่จะวางคาน (Elev. A และ Elev. B ในรูปที่ ช.1) โดยคำนวณได้จาก Vertical Grade ที่ปรับลดด้วยความหนาของพื้นสะพาน คานคอนกรีต และอื่นๆ (ถ้ามี) ณ ตำแหน่งนั้น (ขึ้นอยู่กับแบบรูปที่กำหนด)
2. คำนวณหาค่าระยะทางตามแนวราบระหว่างตำแหน่งศูนย์กลางของแผ่นยางรองคานทั้ง 2 ด้านของช่วงตอม่อที่จะวางคาน (L_0 ในรูปที่ ช.1) (ในกรณีช่วงคานอยู่ในช่วงทางตรง สามารถใช้ผลต่างของ Sta. ที่ศูนย์กลางของแผ่นยางรองคานทั้ง 2 ด้านได้)
3. คำนวณค่ามุมเอียงในระนาบดิ่งระหว่างศูนย์กลางของแผ่นยางรองคาน: Zeta = $\tan^{-1}$ ((Elev. B - Elev. A)/ L_0)
4. คำนวณหาค่าความหนาของหัวคานคอนกรีตที่ต้องการ ณ ตำแหน่งที่ปลายคาน โดยตรวจสอบจาก Vertical Grade ที่ปรับลดด้วยความหนาของพื้นสะพานเทียบกับค่าระดับบนศูนย์กลางของแผ่นยางรองคาน (ความหนาของหัวคานส่วนที่อยู่เหนือแผ่นยางรองคาน)
5. ค่าการปรับหัวคาน (x_0) สามารถคำนวณได้จากความหนาของหัวคานคอนกรีตคูณด้วยค่า sin(Zeta) (ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถปรับค่าที่ได้จากการคำนวณให้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มหรือตัวเลขที่สะดวกต่อการทำงานได้ แต่ต้องใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้)
6. จากค่า Zeta จะสามารถคำนวณหาค่าความยาวคานตามแนวลาดเอียง(L_1)ได้โดยหารค่าระยะตามแนวราบ (L_0) ด้วยค่า cos(Zeta)
7. ค่าความยาวรวมของคานสำหรับก่อสร้าง จะได้จากการบวกเพิ่มด้วยระยะหัวคานที่ปรับแก้แล้วทั้ง 2 ด้านของช่วงคาน

รูปที่ ช.1 แสดงการปรับหัวคานของคานแบบ Half-Joint



รูปที่ ช.1 แสดงการปรับหัวคานของคานแบบ Half-Joint

<u>ตัวอย่างการคำนวณปรับหัวคาน</u> (สะพานข้ามแยกที่มีแนวตรง)

- สมมติให้ค่าระดับและ Sta. ช่วงที่ทำการติดตั้งคาน ที่คำนวณได้จากแบบ เป็นดังนี้;

ค่าระดับบนศูนย์กลางของแผ่นยางรองคานที่ตอม่อตับที่ P 01 (Elev. A) = 3.687 ม.

ค่าระดับบนศูนย์กลางของแผ่นยางรองคานที่ตอม่อตับที่ P 02 (Elev. B) = 4.447 ม.

Sta. ศูนย์กลางของแผ่นยางรองคานที่ตอม่อตับที่ P 01 = 6+711.720

Sta. ศูนย์กลางของแผ่นยางรองคานที่ตอม่อตับที่ P 02 = 6+729.720

ค่าระดับที่ด้านบนของคาน (ตอม่อตับที่ P 01) = 4.322 ม.

- ระยะทางตามแนวราบระหว่างตำแหน่งศูนย์กลางของแผ่นยางรองคาน (L_0) = (6+729.720) – (6+711.720)

= 18.000 ม.

- ค่ามุมเอียงระหว่างศูนย์กลางของแผ่นยางรองคาน (Zeta) = $\tan^{-1}((4.447 - 3.687)/ 18)$

= 2.417 Degree

- จากข้อมูลที่กำหนดให้ ค่าระดับที่ด้านบนของคาน (ตอม่อตับที่ P 01) = 4.322 ม.

- ค่าความหนาของหัวคานคอนกรีตที่ต้องการ = 4.322 - 3.687 = 0.635 ม.

- **ค่าการปรับหัวคาน (x_0)** = 0.635x(sin 2.417)x100 ซม.

= <u>2.68</u> ซม.

- ความยาวคานตามแนวลาดเอียง (L_1) = 18 / cos 2.417 ม.

= 18.016 ม.

- ถ้าระยะจากศูนย์กลางของแผ่นยางรองคานถึงปลายคานเท่ากับ 24 ซม. ทั้ง 2 ด้าน

ดังนั้นความยาวคานทั้งหมด = 18.016 + 0.24 + 0.24 ม.

= <u>18.496</u> ม.

ภาคผนวก ซ การแต่งผิวพื้นสะพาน ระยะ Camber การติดตั้ง Joint และผลกระทบต่อวัสดุคอนกรีตจากสารเคมี

ซ.1 วิธีการควบคุมการแต่งผิวพื้นสะพานให้เรียบ

โดยทั่วไปการทำพื้นสะพานให้เรียบนั้น ต้องอาศัยทั้งความรู้หรือวิธีการของผู้ควบคุมงาน ความสามารถของผู้รับจ้าง และเรื่องของ Material หรือวัสดุคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้าง เพราะทั้ง 3 องค์ประกอบนี้เป็นหลักสำคัญร่วมกันในการที่จะทำให้ผลงานก่อสร้างสะพานสมบูรณ์ขึ้นได้ ซึ่งพอที่จะจำแนกวิธีการก่อสร้างรวมไปถึงคุณภาพหรือลักษณะของวัสดุที่ใช้ประกอบในการก่อสร้างพื้นสะพานได้ดังนี้

ซ.1.1 ก่อนการเทคอนกรีต

(1) ตรวจสอบการลดระดับของบ่ารับคานบริเวณตอม่อที่เผื่อไว้สำหรับการโก่งของคาน ให้ถูกต้องเพื่อการเทคอนกรีตให้ได้ระดับและความหนาของพื้นสะพานที่กึ่งกลาง Span ตามแบบต่อไป ทั้งนี้ให้ถือว่าระดับที่ลดเผื่อนั้น คือระยะที่คานโก่งสูงสุดบริเวณกึ่งกลางคาน

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

ซ.1.2 ขณะทำการเทคอนกรีต

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

(2) ตรวจสอบคอนกรีตที่จะเทบริเวณเดียวกันนั้นให้มีความข้นเหลว (Slump) คงที่เหมือนกัน

(3) ควบคุมการจี้คอนกรีตให้ถูกวิธีตามมาตรฐานและห้ามจี้คอนกรีตที่เริ่มก่อตัวแล้ว

(4) ให้ใช้ตัวรีด ๆ ระดับคอนกรีตที่เทให้เป็นไปตามระดับที่ให้ไว้ (ตัวรีดคอนกรีตเหมือนกับที่ใช้ในงาน Concrete Pavement) โดยให้ตัวรีดวางในแนวตั้งฉากกับ Traffic Direction หรือวางในแนวตั้งฉากกับเหล็กระดับนั้นเอง และทิศทางการไสรีดก็อยู่ในแนวนี้เช่นกันดังแสดงในรูปที่ ซ.1

รูปที่ ซ.1 แสดงตำแหน่งการวางตัวรีดและทิศทางการรีด
พร้อมทั้งเหล็กระดับในการเทพื้นคอนกรีตสะพาน

ซ.1.3 ภายหลังการเทคอนกรีต

(1) ควบคุมการปาดแต่งระดับโดยให้ใช้อุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเพียงพอที่จะกดปาดแต่งระดับได้ เช่น ไม้สามเหลี่ยม ขนาดประมาณ 1.5 – 2.0 เมตร การปาดแต่งระดับต้องให้ระดับที่ปาดแต่งพอดีกับระดับของเหล็กระดับที่วางไว้ถ้าต่ำไปให้เสริมคอนกรีตเพิ่มเข้าไป ถ้าสูงไปให้พยายามกดแล้วปาดคอนกรีตออกก่อนที่จะปาดแต่งระดับอีกครั้งหนึ่ง

(2) การขัดแต่งหน้าให้กระทำเมื่อคอนกรีตก่อตัวไปแล้วพอสมควรแต่บริเวณผิวหน้าต้องไม่แห้งถึงขั้นที่ขัดแต่งไม่ได้ สังเกตได้จากยังมีส่วนที่เป็นน้ำจากคอนกรีตอยู่บริเวณผิว

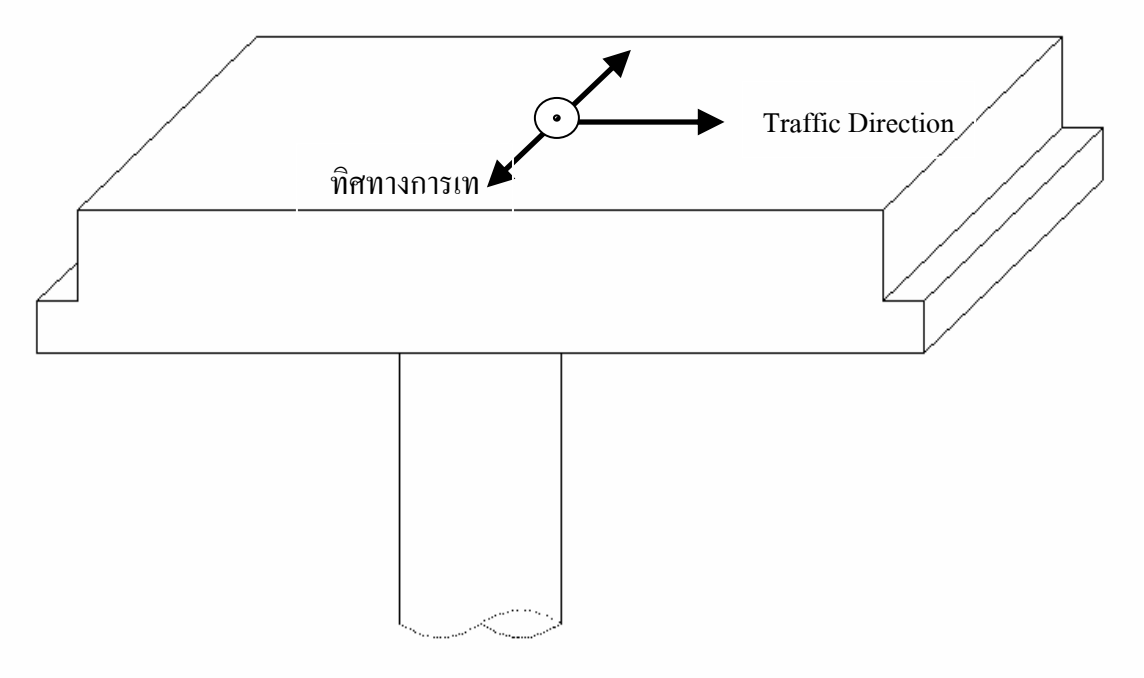
(3) การขีดเส้นแต่งผิวหน้าให้รีบกระทำหลังจากขัดแต่งผิวหน้าก่อนที่จะแข็งตัวโดยสมบูรณ์

(4) การบ่มคอนกรีตต้องให้สม่ำเสมอทั่วถึงกันตลอดพื้นที่ที่เทคอนกรีตเสร็จ

(5) การถอดแบบและค้ำยันแบบให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตได้อายุมากพอหรือตามกำหนดไว้เท่านั้น

(6) การตรวจสอบระดับพื้นสะพานที่เทเสร็จแล้วอีกครั้งหนึ่งเพื่อดูว่าการเผื่อระดับไว้ก่อนเทคอนกรีตนั้นถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องให้ปรับเพิ่ม-ลด ตามความเหมาะสมเพื่อให้ระดับพื้นหลังก่อสร้างเสร็จเป็นไปตามแบบ

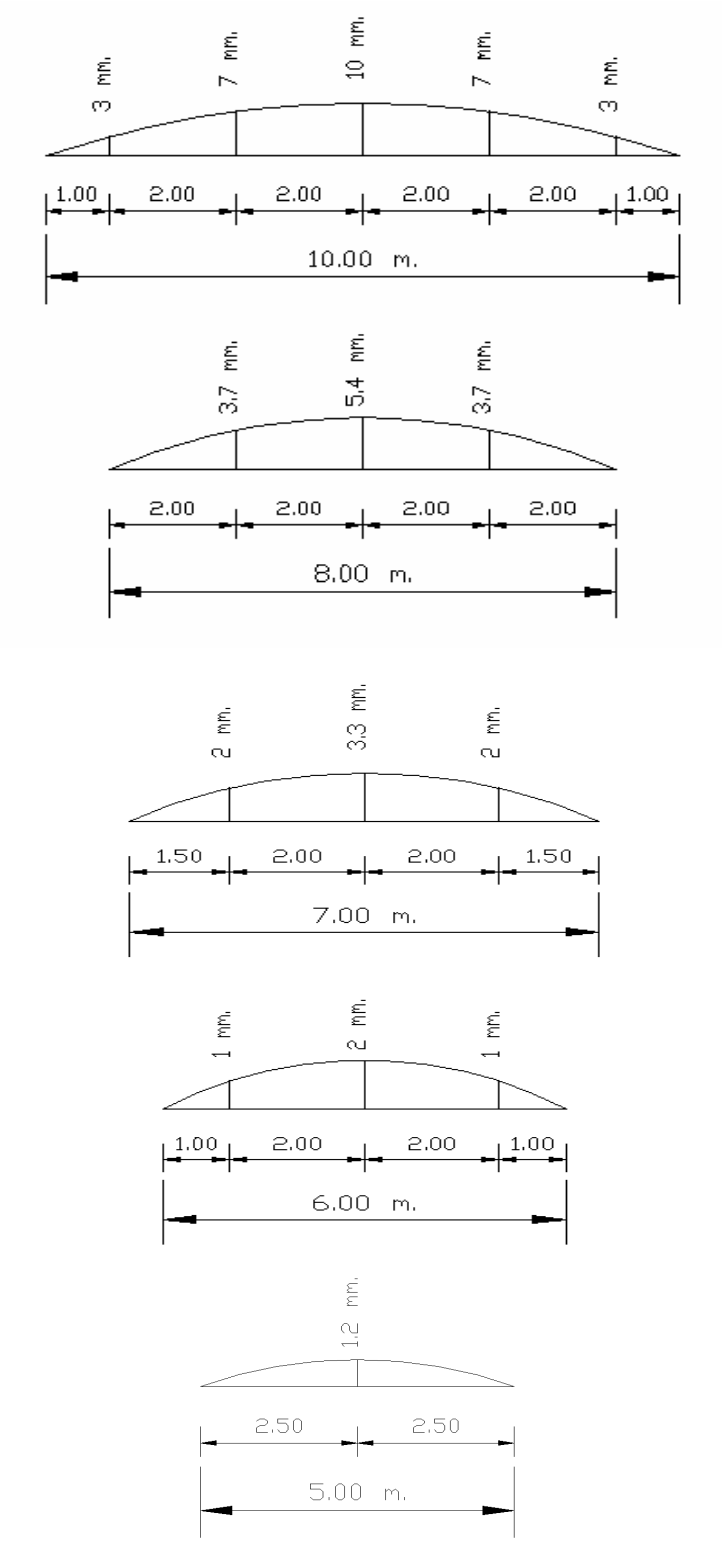
ในกรณีการเท Cantilever Deck หรือโครงสร้างที่ยื่นมากให้เทจากบริเวณหัวเสา กระจายพื้นที่ให้สม่ำเสมอตามแนวตั้งฉากกับทิศทางการจราจร ไปยังปลายของคานหัวเสา และเทคอนกรีตให้สูงขึ้นเป็นชั้นๆเท่าๆกัน



รูปที่ ซ.2 แสดงตำแหน่งการเทคอนกรีต Cantilever Deck ที่ความกว้าง Road Way มากๆ

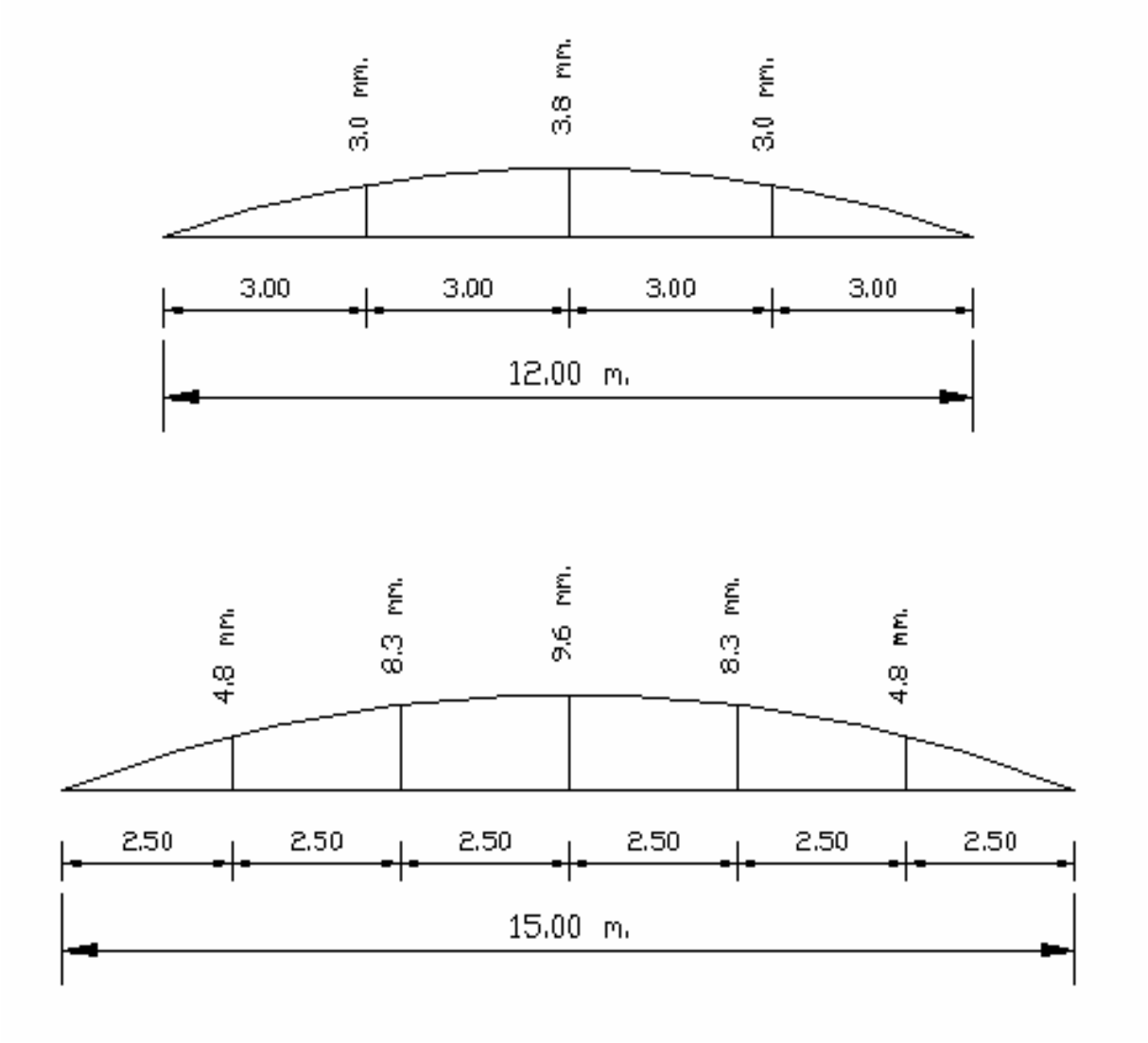
ซ.2 ระยะ Camber ของช่วงพื้นสะพานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่

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)

ซ.3 วิธีการติดตั้งรอยต่อ (Joint)

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

ข้อควรระวังในการควบคุมตรวจสอบการติดตั้ง Joint มีดังนี้

(1) การเชื่อมสำหรับรอยต่อชนิดใช้แผ่นเหล็กจะต้องทำให้เหล็กรูปตัว U ที่ใช้เสริมยึดระหว่างแผ่นเหล็กกับเนื้อคอนกรีตเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กให้สนิทและสมบูรณ์อย่าให้หลุดได้พร้อมทั้งตรวจสอบระดับที่ติดตั้งให้ถูกต้องตามแบบด้วย

(2) ส่วนที่เป็นคอนกรีต Block Out บริเวณ Joint ต้องใช้วัสดุที่ไม่หดตัวเป็นตัวประสานระหว่างคอนกรีตกับ Joint เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกและน้ำซึมลงไปใน Joint ได้

(3) ต้องตรวจสอบการปรับระดับคอนกรีตให้ถูกต้อง และเสมอกับระดับบนของ Joint

(4) การติดตั้งต้องให้ Joint แนบสนิทกับเนื้อคอนกรีตไม่ให้เกิดมีช่องว่างใต้ Joint ได้ เพราะถ้าติดตั้งไม่แนบสนิท เมื่อเปิดการจราจรแล้วอาจเกิดแรงกระแทกทำให้คอนกรีตบริเวณรอยต่อเกิดการแตกร้าวได้

(5) กรณีกำหนดให้ปูยางแอสฟัลต์คอนกรีตบนพื้นสะพาน ให้หลีกเลี่ยงวิธีการก่อสร้าง Joint ก่อนแล้วปูยางแอสฟัลต์คอนกรีตภายหลัง

ซ.4 ผลกระทบต่อวัสดุคอนกรีตที่เกิดจากสารเคมี

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 usually 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	None
	Potassium	
	Sodium	
Chlorides of	Calcium	None unless concrete is alternately wet and dry with Sodium the solution.
	Potassium	
	Strontium	
Chlorides of	Ammonia	Disintegrates slowly
	Copper	
	Iron	
	Magnesium	
	Mercury	
	Zinc	
Fluorides		None except ammonium fluoride
Hydroxides of	Ammonia	None
	Calcium	
	Potassium	
	Sodium	
Nitrates of	Ammonium	Disintegrates
	Calcium	None
	Potassium	
	Sodium	
Potassium permanganate		None
Silicates		None
Sulfates of	Aluminum	Disintegrates however, concrete products cured in high pressure steam are highly resistant to sulfates
	Calcium	
	Cobalt	
	Copper	
	Iron	
	Manganese	
	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	Disintegrates surface slowly
Castor	
Chian wood* *	
Coconut	
Linseed	
Olive	Disintegrates surface slowly
Peanut	
Poppy seed	
Soybean**	
Tung**	
Walnut	
Turpentine	None: considerable penetration

FATS AND FATTY ACIDS (ANIMAL)

Material	Effect on concrete
Fish oil	Most fish oils attack concrete slightly
Foot oil	Disintegrates surface slowly
Lard an lard oil	
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 ; snow attack
Caustic soda	No effect on calcareous 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 or 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	Aqueous 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
Glycerin	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 ; tanneries using chromium no effects
Trisodium 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 batch 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

คำสั่งแต่งตั้ง

คณะทำงานจัดทำคู่มือควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง

คำสั่ง คณะกรรมการพัฒนาระบบบริหารความรู้ในองค์กรกรมทางหลวง

ที่ ม.1/28/50

เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำคู่มือควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง

เพื่อประโยชน์ต่อทางราชการ และให้กรมทางหลวงมีฐานความรู้และมีระบบการบริหารองค์ความรู้ที่ยั่งยืน บรรลุเป้าหมายในการส่งเสริมและพัฒนาความรู้ในส่วนราชการ เพื่อให้การควบคุมงานก่อสร้างทางหลวงของหน่วยงานต่าง ๆ ในกรมทางหลวงมีคุณภาพและมาตรฐานเป็นแนวทางเดียวกัน จึงแต่งตั้งคณะทำงานจัดทำคู่มือควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง ดังนี้

1. องค์ประกอบ

<u>คณะทำงานจัดทำคู่มือควบคุมงานก่อสร้างทาง</u>

1 ผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างทางที่ 2		ที่ปรึกษา
2 ผู้อำนวยการกองนิติการ		ที่ปรึกษา
3 นายศักดิ์ชัย ขำเจริญ	นักวิชาการพัสดุ 8 ว	ที่ปรึกษา
4 นายวิษณุ ใจเผื่อแผ่	นายช่างโยธา 8	ที่ปรึกษา
5 นายบุญชัย ศรีธาราธิคุณ	วิศวกรวิชาชีพ 9 วช	ประธานคณะทำงาน
6 นายอภิชาติ จันทร์ทรัพย์	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
7 นายวิศาล วัชรานนท์	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
8 นายกฤษดา ศรีดามา	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
9 นายไพฑูรย์ พงษ์ชวลิต	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
10 นายพงศ์เทพ ทองพัฒน์	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
11 นายชัยวัฒน์ ตันหัน	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
12 นายอาณัฐ นิธิวัฒนพงษ์	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
13 ดร.อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช	วิศวกรโยธา 5	คณะทำงาน
14 นายจตุรงค์ เลาวภาคย์ไพบูลย์	วิศวกรโยธา 3	คณะทำงาน
15 นายอภิรัฐ ไชยวงศ์น้อย	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงานและเลขานุการ
16 นายกฤตภาส อุตรวีระการ	วิศวกรโยธา 7 วช	คณะทำงาน และผู้ช่วยเลขานุการ

/คณะทำงาน...

คณะทำงานจัดทำคู่มือควบคุมงานก่อสร้างสะพาน

1	ผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างสะพาน		ที่ปรึกษา
2	ผู้อำนวยการกองนิติการ		ที่ปรึกษา
3	นายศักดิ์ชัย ขำเจริญ	นักวิชาการพัสดุ 8 ว	ที่ปรึกษา
4	นายวิษณุ ใจเผื่อแผ่	นายช่างโยธา 8	ที่ปรึกษา
5	นายวิชัย กังอุบล	รก.วิศวกรวิชาชีพ 9 วช	ประธานคณะทำงาน
6	นายกมล หมั่นทำ	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
7	นายธงไชย วีระสมัย	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
8	นายสุระพล มณีวงศ์	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
9	นายธานินทร์ ริรัตน์พงษ์	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
10	นายณัฐสม สงวนวงษ์	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
11	นายธนพล วิโรจน์จรัส	วิศวกรโยธา 3	คณะทำงาน
12	นายชวเลิศ เลิศชวนะกุล	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงานและเลขานุการ
13	นายพรชัย ศิลารมย์	วิศวกรโยธา 5	คณะทำงาน และผู้ช่วยเลขานุการ

คณะทำงานจัดทำคู่มือควบคุมคุณภาพวัสดุงานก่อสร้าง

1	ผู้อำนวยการสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ		ที่ปรึกษา
2	ผู้อำนวยการกองนิติการ		ที่ปรึกษา
3	นายศักดิ์ชัย ขำเจริญ	นักวิชาการพัสดุ 8 ว	ที่ปรึกษา
4	นายวิษณุ ใจเผื่อแผ่	นายช่างโยธา 8	ที่ปรึกษา
5	นายเหม โง้วศิริ	รก.วิศวกรวิชาชีพ 9 วช	ประธานคณะทำงาน
6	นายวีระ พลอยกระจ่าง	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
7	นายสมัคร สนทอง	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
8	นายปกรณ์ มิลินทะเลข	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
9	นายสว่าง บูรณธนานุกิจ	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
10	นายลิทธิชัย บุญสะอาด	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
11	ดร.พลเทพ เลิศวรวนิช	วิศวกรโยธา 5	คณะทำงาน
12	นายนะบีลย์ เจ๊ะแว	วิศวกรโยธา 3	คณะทำงาน
13	นายนิคม เทพบุตร	รก.วิศวกรโยธา 7 วช	คณะทำงานและเลขานุการ
14	นายวุฒิพงศ์ คำภูแสน	รก.วิศวกรโยธา 7 วช	คณะทำงาน และผู้ช่วยเลขานุการ

/2.ขอบข่าย...

2. ขอบข่าย

จัดทำคู่มือควบคุมงานก่อสร้างทางหลวงให้สอดคล้องกับกฎหมาย ระเบียบ ข้อบังคับ มติคณะรัฐมนตรี และแบบแผนการปฏิบัติงาน เพื่อให้ทุกหน่วยงานของกรมทางหลวงสามารถใช้เป็นคู่มือในการควบคุมงานก่อสร้างของกรมทางหลวงให้มีคุณภาพและมาตรฐานเป็นแนวทางเดียวกัน

3. หน้าที่ความรับผิดชอบ

ที่ปรึกษา

- ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินการและอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้นกับคณะทำงาน

คณะทำงาน

- ศึกษาและรวบรวม กฎหมาย ระเบียบ ข้อบังคับ มติคณะรัฐมนตรี ที่เกี่ยวข้องในการควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง
- จัดทำคู่มือควบคุมงานก่อสร้างทางหลวงให้ผู้มีหน้าที่สามารถใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการควบคุมงานก่อสร้างให้มีคุณภาพและเป็นไปตามมาตรฐาน
- ดำเนินการจัดทำคู่มือควบคุมงานก่อสร้างทางหลวงให้แล้วเสร็จเสนอคณะกรรมการพัฒนาระบบบริหารความรู้ในองค์กรกรมทางหลวงพิจารณาภายในเดือนเมษายน พ.ศ. 2550 และแก้ไขปรับปรุงจนสามารถใช้เป็นคู่มือควบคุมงานก่อสร้างทางหลวงได้
- ปฏิบัติงานอื่น ๆ ที่ได้รับมอบหมาย

ทั้งนี้ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๕ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550

(นายเอนก อัมระปาล)
รองอธิบดีฝ่ายบริหาร
ประธานคณะกรรมการพัฒนาระบบบริหารความรู้
ในองค์กรกรมทางหลวง