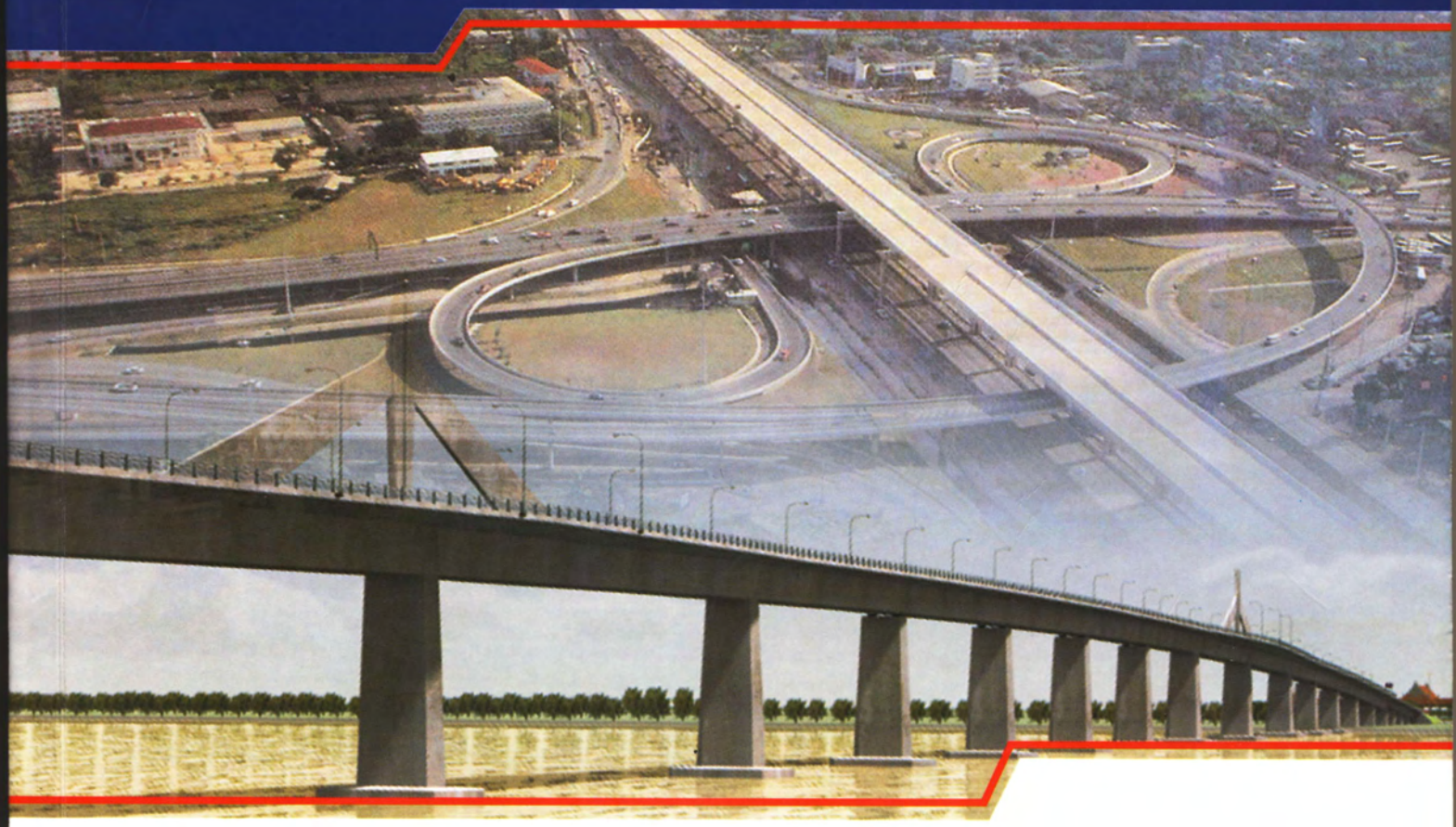
คู่มือวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม

(WORK INSTRUCTION FOR BRIDGE AND BOX CULVERT CONSTRUCTION)



สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง

(BUREAU OF BRIDGE CONSTRUCTION, DEPARTMENT OF HIGHWAYS)

สารจาก อธิบดีกรมทางหลวง

กรมทางหลวง กำหนดวิสัยทัศน์ ในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านทางหลวงไว้ว่า " **องค์กรที่เป็นเลิศด้านงานทาง ผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการขนส่งทางถนนในภูมิภาค** " จึงมีพันธกิจในการกำกับดูแลการใช้ทางหลวง บริหารจัดการองค์กร เน้นงานด้านวิศวกรรม เพื่อพัฒนางานก่อสร้าง และงานบำรุงรักษาทางหลวงให้ยั่งยืน

กรมทางหลวงรับผิดชอบการวางแผนโครงข่ายการขนส่งทางบก การก่อสร้างทางหลวงและสะพาน รวมถึงการบำรุงรักษา โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อยกระดับมาตรฐานงานทางและสะพานให้เป็นสากล สนับสนุนให้ประเทศไทยมีเศรษฐกิจและสังคมที่เข้มแข็งและยั่งยืน ทำให้ผู้ใช้ทางหลวงมีความสะดวก รวดเร็ว ปลอดภัย ประชาชนมีคุณภาพชีวิตที่ดี และสร้างความพึงพอใจให้กับประชาชน การที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว ทรัพยากรบุคคลขององค์กรเป็นสิ่งสำคัญในการผลักดันให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการดำเนินงานขององค์กร ทำให้ผลงานการก่อสร้างมีคุณภาพ ดังนั้นทรัพยากรบุคคลต้องได้รับการพัฒนาทักษะและความรู้อย่างต่อเนื่อง และสามารถบูรณาการประสบการณ์และความรู้ทางวิชาการ มาใช้ในการปฏิบัติงานให้เกิดผลอย่างเป็นรูปธรรม

กรมทางหลวง กำหนดกลยุทธ์เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ คือ การพัฒนามาตรฐานและคู่มือสำหรับการปฏิบัติงาน ระบบตรวจและควบคุมงาน ระบบควบคุมคุณภาพและประเมินผล จึงได้แต่งตั้งคณะกรรมการจัดทำคู่มือวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม เพื่อรวบรวมแนวความคิด ประสบการณ์ ความรู้เชิงวิชาการ นำไปจัดคู่มือวิธีการปฏิบัติงานการก่อสร้างงานสะพานและท่อเหลี่ยม และนำไปใช้ประโยชน์ในการเรียนรู้ของทรัพยากรบุคคลขององค์กร

(นายเทิดศักดิ์ เศรษฐมานพ)
อธิบดีกรมทางหลวง

คำนำ

กลยุทธ์หนึ่งของการดำเนินงานเพื่อทำให้กรมทางหลวงบรรลุวัตถุประสงค์ทั้ง 4 ประการ และมุ่งสู่การเป็นองค์กรที่เป็นเลิศด้านงานทาง ผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการขนส่งทางถนนในภูมิภาค คือ การพัฒนามาตรฐาน และคู่มือสำหรับการปฏิบัติงาน ระบบตรวจและควบคุมงาน ระบบควบคุมคุณภาพ และระบบประเมินผล

สำนักก่อสร้างสะพาน รับผิดชอบงานดำเนินการก่อสร้างสะพานทั้งในส่วนที่ดำเนินการก่อสร้างเองโดยศูนย์สร้างและบูรณะสะพานทั้ง 4 แห่ง (4 ภูมิภาค) และรับผิดชอบควบคุมการก่อสร้างสะพานโดยการจ้างเหมา สำนักก่อสร้างสะพานตระหนักดีในฐานะองค์กรหนึ่งของกรมทางหลวง ที่จะต้องพัฒนาบุคลากรของกรมทางหลวงให้มีความรู้ ความเข้าใจในงานก่อสร้างและบูรณะสะพาน เพราะสะพานเป็นองค์ประกอบสำคัญของงานทาง มีขั้นตอน วิธีการ และเทคนิคในการก่อสร้างที่ยุ่งยาก ต้องการผู้ควบคุมงานที่มีความรู้และประสบการณ์มาก เพื่อทำให้สะพานที่ก่อสร้างแล้วเสร็จมีความมั่นคงแข็งแรง คงทน และสวยงาม สำนักก่อสร้างสะพานจึงได้จัดทำ "คู่มือวิธีการปฏิบัติงานของนายช่างโครงการก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม" เพื่อเผยแพร่แก่ผู้ที่รับผิดชอบงานก่อสร้างทางของกรมทางหลวง และบุคคลทั่วไปที่สนใจงานก่อสร้างและบูรณะสะพาน เนื้อหาในคู่มือเกี่ยวข้องกับขั้นตอน วิธีการก่อสร้างสะพาน ข้อกำหนด และมาตรฐานควบคุมงานก่อสร้างสะพาน เทคนิควิธีการก่อสร้างสะพาน เริ่มตั้งแต่งานฐานรากจนถึงการก่อสร้างพื้นสะพานแล้วเสร็จ และการป้องกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

สำนักก่อสร้างสะพาน หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาบุคลากรของกรมทางหลวง และเป็นเครื่องมือนำพาให้กรมทางหลวงบรรลุวัตถุประสงค์ทั้งปวง

(นายจิตพันธ์ ประกอบพร)
ผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างสะพาน

สารบัญ

เนื้อเรื่อง	*หน้า*
สารจาก อธิบดีกรมทางหลวง	
คำนำ	
1. การสำรวจระบบพิกัด (Coordinate)	1
2. เสาเข็มตอก (Driving Pile)	15
3. เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงแบบแรงเหวี่ยง (Spun Pile)	26
4. การตอกเสาเข็มขนาด 0.65 x 0.65 ในทะเล	35
5. งานเสาเข็มเจาะ	46
6. งานเสาเข็มเจาะ (กลางน้ำ)	54
7. งานตอม่อสะพาน (Pile Cap, Column, Cap Beam)	66
8. คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น (Cantilever Deck)	72
9. แผ่นยางรองคาน (Bearing Pad)	82
10. Pot Bearing	98
11. สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Bridge)	102
12. งานก่อสร้างทางเท้า ราวสะพาน และขอบทาง	108
13. ขอบทางแบบ Precast Fin	114
14. คานคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Girder)	116
15. งานพื้นสะพาน (Deck Slab)	135
16. รอยต่อพื้นสะพาน (Expansion Joint)	150
17. Bridge Approach Structure	157
18. กำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน (Reinforced Earth Wall)	177
19. Bearing Unit	203
20. การหล่อ Pre-Cast Segment	209
21. การติดตั้ง Pre-Cast Segment	220
22. การก่อสร้างด้วยวิธี Balance Cantilever	241
23. งานก่อสร้างทางลอด (Underpass)	255
24. ท่อเหลี่ยม คสล. (R.C. Box Culvert)	282
25. งานป้องกันสนิมของเหล็กเสริมโครงสร้างโดยวิธี Cathodic Protection	292
คณะผู้จัดทำ	308
รายชื่อผู้เขียน	312

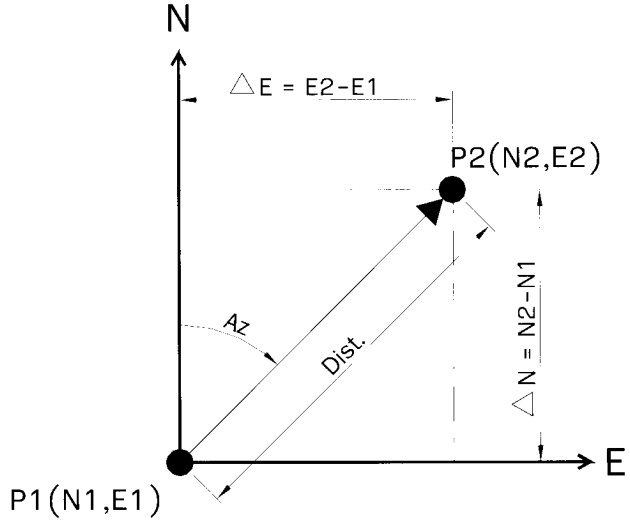
การสำรวจระบบพิกัด (Coordinate)

บทนำ

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

การคำนวณระบบพิกัด

- การหาค่าพิกัดของจุดที่ 2 โดยคำนวณจากพิกัดของจุดที่ 1 เมื่อทราบค่าระยะทาง (Distance) และมุม Azimuth (Az) จากจุดที่1 ไปยังจุดที่ 2



รูปที่ 1 การคำนวณระบบพิกัด

จากรูปที่ 1 ให้จุด P1 มีค่าพิกัดเป็น N1,E1 เมื่อทราบค่าระยะทาง (Dist) และมุม Azimuth (Az) จากจุด P1 ไปยังจุด P2 สามารถคำนวณหาค่าพิกัดของจุด P2 ได้ดังนี้

$$N2 = N1 + \Delta N$$

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

$$N2 = N1 + Dist.x\ Cos(Az) \quad -(1)$$

$$E2 = E1 + \Delta E$$

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

$$E2 = E1 + Dist \times Sin(Az) \quad -(2)$$

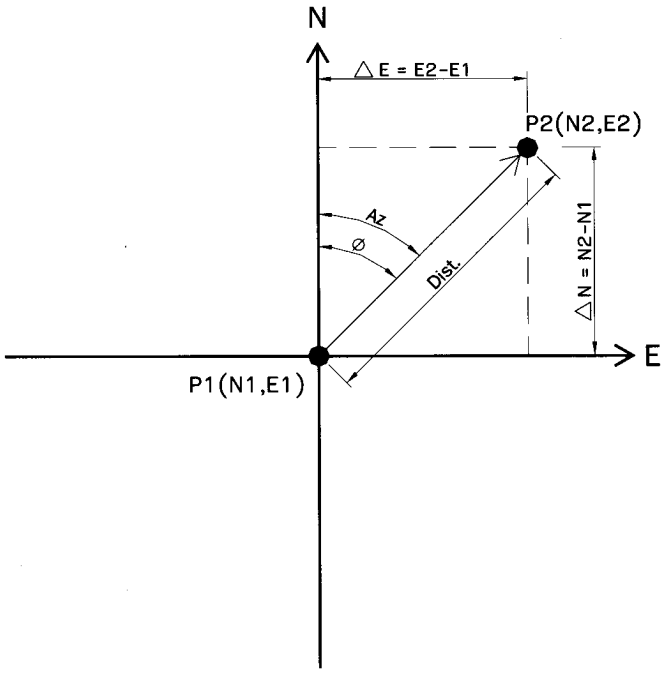
- การหาค่าระยะทาง Distance และมุม Azimuth (Az) จากจุดที่1 ไปยังจุดที่ 2 เมื่อทราบค่าพิกัดของจุดที่ 1 และ จุดที่ 2

$$\Delta N = N2 - N1$$

$$\Delta E = E2 - E1$$

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

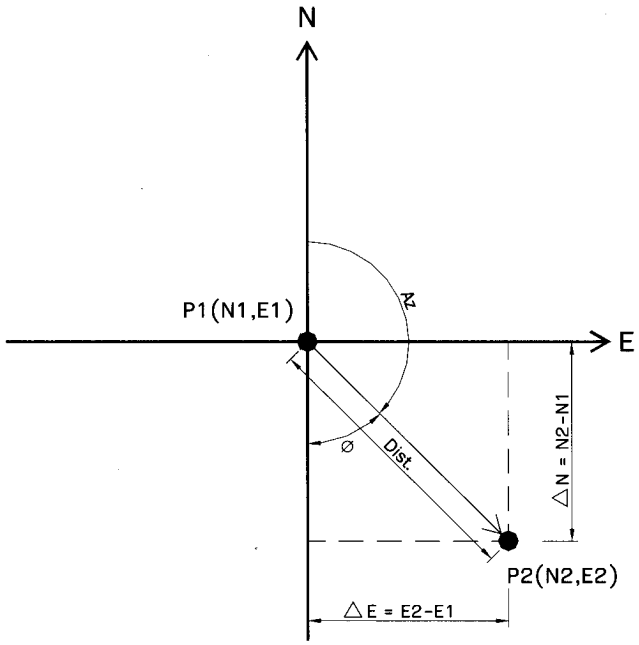
$$\phi = Tan^{-1}\left(\frac{|\Delta E|}{|\Delta N|}\right) \qquad -(4)$$



รูปที่ 2 Quadrant 1

จากรูปที่ 2 กรณี ΔN เป็น + และ ΔE เป็น + มุม ϕ อยู่ใน Quadrant 1

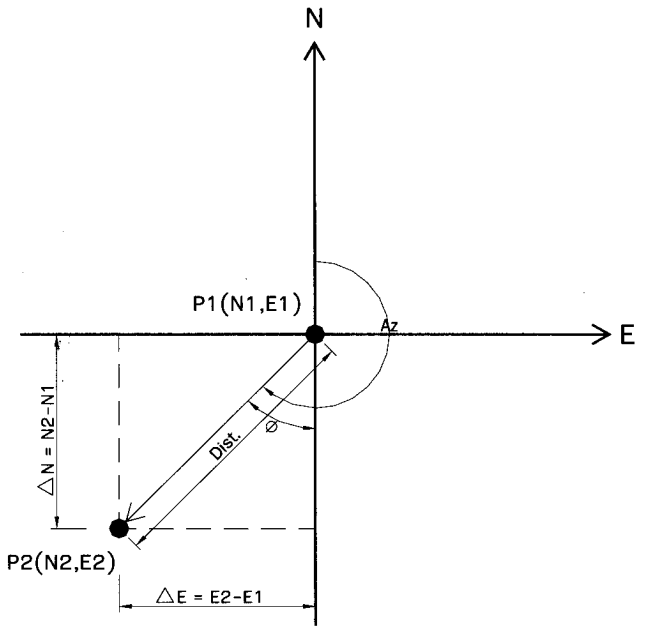
$$Azimuth\ (Az) = \phi \qquad -(5)$$



รูปที่ 3 Quadrant 2

จากรูปที่ 3 กรณี ΔN เป็น – และ ΔE เป็น + มุม ϕ อยู่ใน Quadrant 2

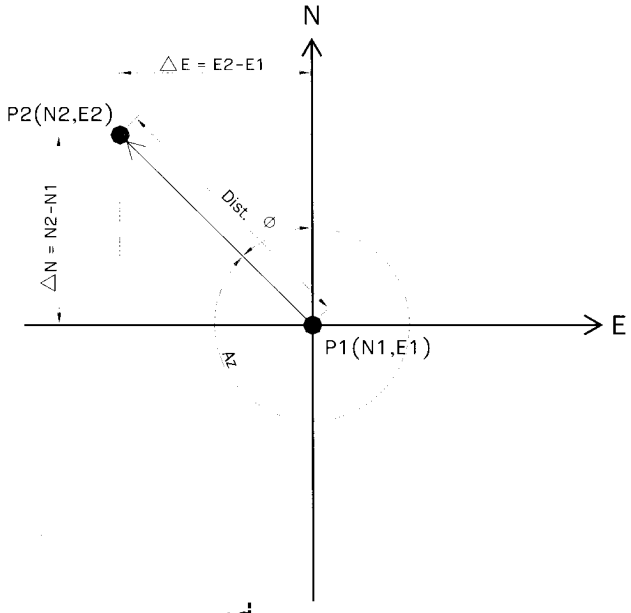
$$\text{Azimuth (Az)} = 180^{\circ} - \phi \qquad -(6)$$



รูปที่ 4 Quadrant 3

จากรูปที่ 4 กรณี ΔN เป็น – และ ΔE เป็น - มุม ϕ อยู่ใน Quadrant 3

$$\text{Azimuth (Az)} = 180^{\circ} + \phi \qquad -(7)$$



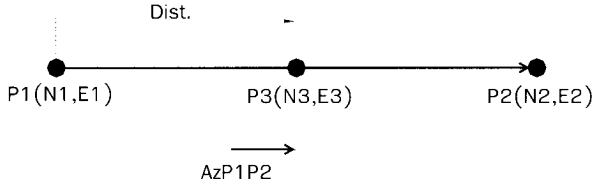
รูปที่ 5 Quadrant 4

จากรูปที่ 5 กรณี ΔN เป็น + และ ΔE เป็น – มุม ϕ อยู่ใน Quadrant 4

Azimuth (Az) = $360^{0} - \phi$ - (8)

การคำนวณหาพิกัด และมุม Azimuth ของแนว Alignment

1. แนวเส้นตรง (Tangent or Straight Line)



รูปที่ 6 การคำนวณพิกัดในแนวเส้นตรง

- หาค่าพิกัดของจุดที่ 3 โดยคำนวณจากพิกัดของจุดที่ 1 และจุดที่ 2

$$\Delta N = N2-N1$$

$$\Delta E = E2-E1$$

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

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

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

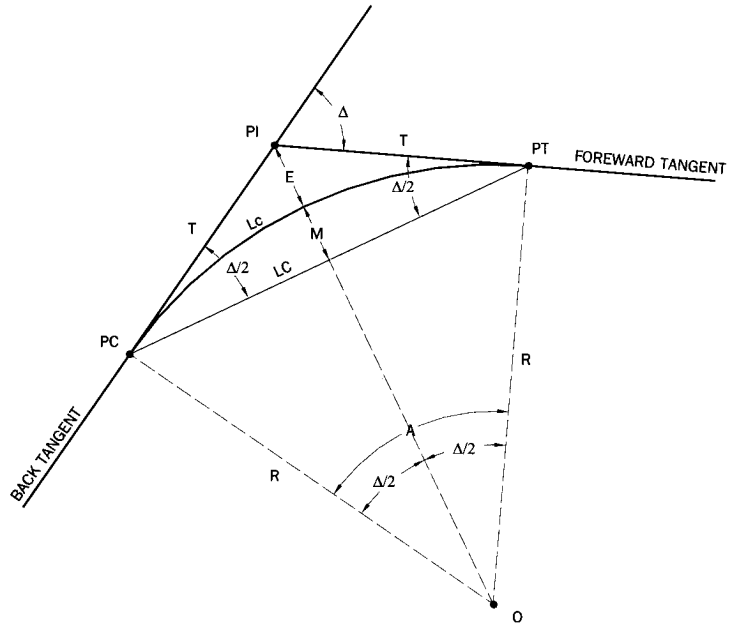
กรณี ΔN เป็น - และ ΔE เป็น - (Quadrant 3) AzP1P2 = $180^{\circ} + \phi$

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

$$N3 = N1 + Dist \times Cos(AzP1P2)$$

$$E3 = E1 + Dist \times Sin(AzP1P2)$$

2. โค้งวงกลม (Simple Circular Curve)



รูปที่ 7 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

$$T = R \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$E = R\left[\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right)-1\right] = T \tan\left(\frac{\Delta}{4}\right)$$

$$M = R\left[1-\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right] = R \operatorname{vers}\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

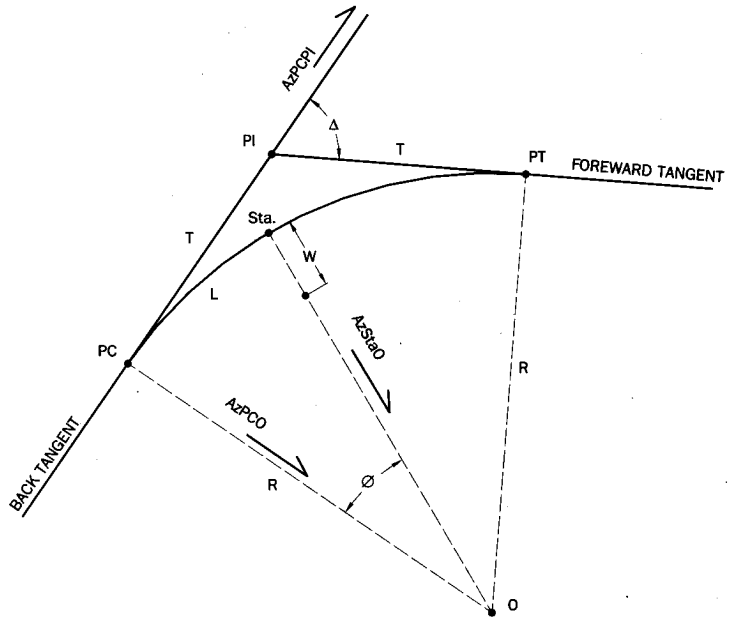
$$R = \frac{5729.57795}{D} \quad \text{(Arc definition)}$$

$$Lc = 100\left(\frac{\Delta}{D}\right)$$

$$LC = 2R \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

PC sta. = PI sta. - T

PT sta. = PC sta. + Lc



รูปที่ 8 การคำนวณพิกัดโค้งวงกลม

- หาพิกัดของจุด PC

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

- หาพิกัดของจุด O

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

Az PCO = Az PCPI + 90^{0} กรณี โค้งเลี้ยวขวา

= Az PCPI - 90^{0} กรณี โค้งเลี้ยวซ้าย

- ระยะ R

- หาพิกัดของ Sta. ใด ๆ

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

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

- หาพิกัดที่จุด Offset ของ Sta. ใด ๆ (ระยะ Offset W)

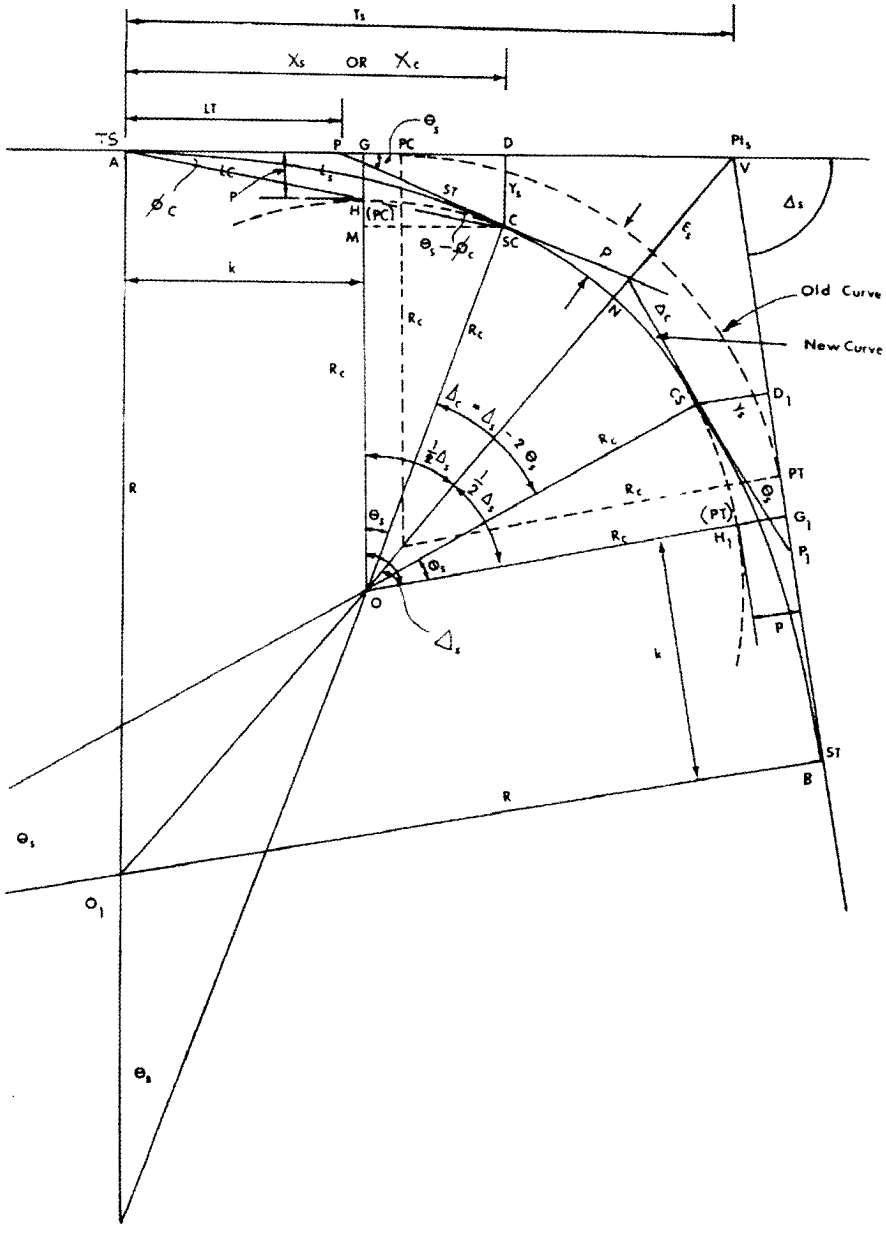
คำนวณจาก
- พิกัดของ O
- มุม Azimuth ของแนว Sta. $\longrightarrow$ O (Az Sta O)
- ระยะ = -(R-W) กรณี Offset ด้านในโค้ง

= -(R+W) กรณี Offset ด้านนอกโค้ง

3. โค้งก้นหอย (Spiral Curve)

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

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



รูปที่ 9 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 L_c จากจุด SC ถึงจุด CS

LC = Length of Chord ของ L ใด ๆ บนโค้งก้นหอย

L.T. = Long Tangent

S.T. = Short Tangent

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\theta_S = \frac{L_S}{2R_C} \quad \text{(Radian)}$$

$$\theta = \left(\frac{L}{L_S}\right)^2 \theta_S \quad \text{(Radian)}$$

$$Y = L\left[\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{42} + \frac{\theta^5}{1{,}320} - \frac{\theta^7}{75{,}600} + \frac{\theta^9}{6{,}894{,}720}\right]$$

$$X = L\left[1 - \frac{\theta^2}{10} + \frac{\theta^4}{216} - \frac{\theta^6}{9{,}360} + \frac{\theta^8}{685{,}440}\right]$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$T_S = k + (R_C + P)\tan\left(\frac{\Delta_S}{2}\right)$$

$$k = X_S - R_C \sin(\theta_S)$$

$$p = Y_S - R_C[1 - \cos(\theta_S)]$$

$$L.T. = X_S - \frac{Y_S}{\tan(\theta_S)}$$

$$S.T. = \frac{Y_S}{\sin(\theta_S)}$$

$$\Delta_C = \Delta_S - 2\theta_S$$

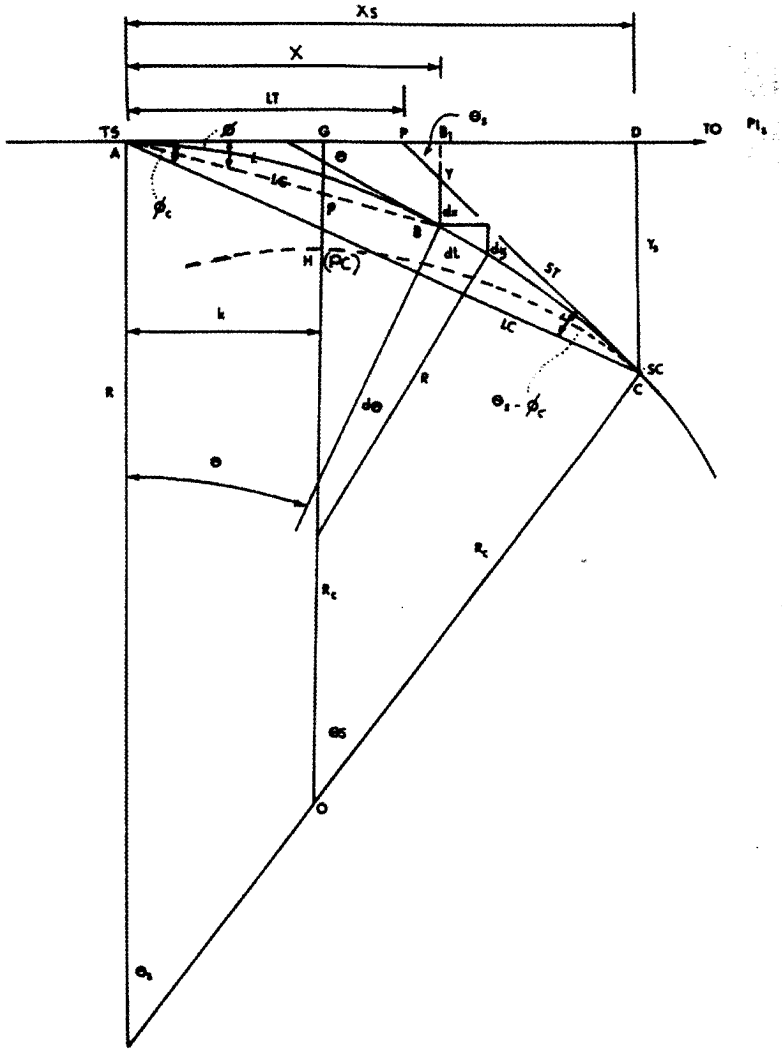
$$\text{Lc} = 100\left(\frac{\Delta_C}{D_C}\right) = \frac{\Delta_C R_C \pi}{180}$$

TS Sta. = PI Sta. - T_S

SC Sta. = TS Sta. + L_{S1}

CS Sta. = SC Sta. + L_C

ST Sta. = CS Sta. + L_{S2}



รูปที่ 10 การคำนวณพิกัดโค้งก้นหอย

ในการคำนวณหาพิกัดโค้งก้นหอยที่กำหนดค่า L_{S1}, L_{S2}, R_c หรือ D_C และ Δ_s ให้สามารถหาพิกัดของจุดต่าง ๆ ได้ ดังนี้

- หาพิกัดของจุด TS

คำนวณจาก
- พิกัดของ PI
- มุม Azimuth ของแนว TS $\longrightarrow$ PI (Az TSPI)
- ระยะ $-T_S$

- หาพิกัดของจุด Sta.ใด ๆ ใน Spiral Curve ในช่วง TS $\longrightarrow$ SC

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

Az TSSta = Az TSSta + ϕ กรณี โค้งเลี้ยวขวา

= Az TSSta - ϕ กรณี โค้งเลี้ยวซ้าย

- ระยะ L.C.

- หาพิกัดของจุด Sta.ใดๆ ในช่วงโค้ง Simple Curve คำนวณเหมือนโค้งวงกลม (Simple Curve) โดย SC = PC และ CS = PT
- หาพิกัดของจุด Sta.ใด ๆ ใน Spiral Curve ในช่วง ST → CS คำนวณเหมือนในช่วง TS → SC โดย L = ST Sta. - Sta.ใด ๆ

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

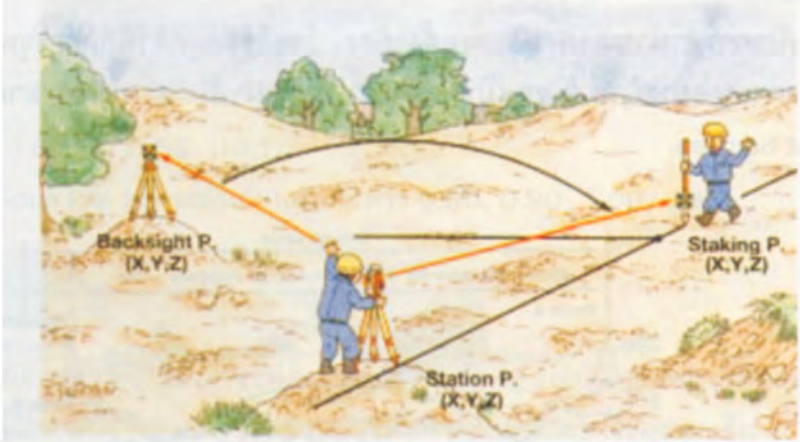
รูปที่ 11 กล้อง Total Station รุ่นต่าง ๆ

(ภาพจาก www.surveyinstru.com)

ขั้นตอนการให้ตำแหน่งจุดต่าง ๆ ในสนาม (Layout of Point)

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



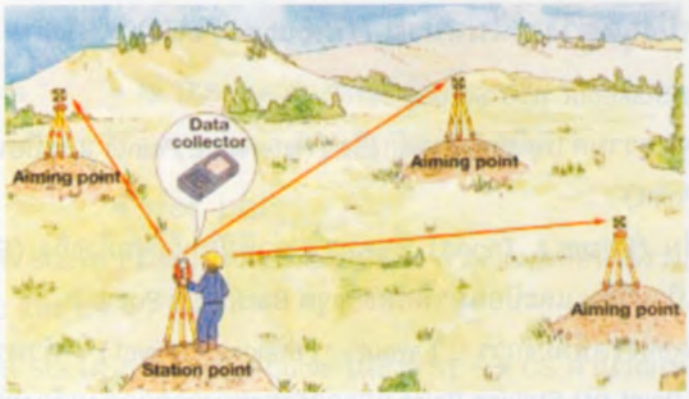
รูปที่ 12 การให้ตำแหน่งจุดต่าง ๆ ในสนามโดยวิธี Coordinates Stakeout

(ภาพจาก www.surveyinstru.com)

การหาค่าพิกัดของจุดต่าง ๆ ในสนาม

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

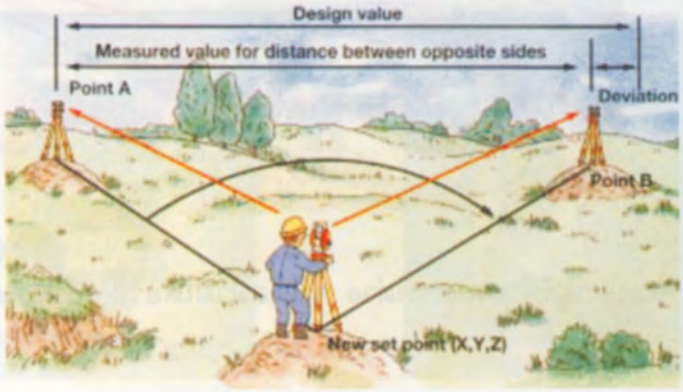


รูปที่ 13 การหาค่าพิกัดของจุดต่าง ๆ ในสนาม

(ภาพจาก www.surveyinstru.com)

วิธี Resection

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



รูปที่ 14 การหาค่าพิกัดของจุดตั้งกล้อง โดยวิธี Resection

(ภาพจาก www.surveyinstru.com)

เสาเข็มตอก (Driving Pile)

บทนำ

การก่อสร้างสะพานของกรมทางหลวงโดยทั่วไป จำเป็นต้องใช้ฐานรากที่มีเสาเข็มช่วยรองรับการกระจายน้ำหนักลงสู่ชั้นดิน ซึ่งความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก (Load Capacity) ของเสาเข็มขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับน้ำหนักของตัวเสาเข็มเอง และความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (End Bearing)

เสาเข็มตอกที่ใช้งานโดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือ

1. เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Pile)
2. เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Pile)

รูปแบบและขนาดของเสาเข็มที่ใช้ในแต่ละงานมีความแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบเพื่อใช้งาน งานก่อสร้างสะพานของกรมทางหลวงโดยทั่วไปใช้เสาเข็มคอนกรีตขนาดต่างๆ ดังนี้

1. เสาเข็ม □ 0.40 x 0.40 เมตร
2. เสาเข็ม □ 0.525 x 0.525 เมตร
3. เสาเข็ม □ 0.65 x 0.65 เมตร
4. เสาเข็ม Spun Pile ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60, 0.80, 1.00 เมตร

ข้อมูลเบื้องต้น

- รายละเอียดชั้นดินจากการเจาะสำรวจชั้นดินในสนาม (Boring Log) และผลการทดสอบคุณสมบัติทางปฐพีวิศวกรรม ค่าระดับฐานตอม่อ (Pile Cap) เพื่อกำหนดความยาวของเสาเข็ม
- รายละเอียดและรายการคำนวณการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจาก Hiley's Formular หรือตามที่ผู้ออกแบบกำหนด
- รายการคำนวณการดึงลวดอัดแรง (Stressing) ของเสาเข็มกรณีเป็นเสาเข็มชนิดคอนกรีตอัดแรง
- ตรวจสอบน้ำหนักลูกตุ้มที่ใช้ในการตอกด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก ต้องมากกว่า 50 % ของน้ำหนักเสาเข็ม แต่ต้องไม่น้อยกว่า 3 ตัน
- กรณีใช้ Diesel Hammer หรือ Hydraulic Hammer ตอกเสาเข็ม ต้องมีข้อมูลรายละเอียดประสิทธิภาพของเครื่องจักรประกอบการพิจารณาด้วย
- กรณีใช้เสาเข็มขนาด □ 0.525 x 0.525 เมตร , □ 0.65 x 0.65 เมตร ความยาวไม่เกิน 10.00 เมตร ผู้รับจ้างอาจเสนอขอใช้เป็นเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กแทนเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักสำรวจและออกแบบ

เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Pile)

ขนาด □ 0.40 x 0.40 เมตร

ขั้นเตรียมการหล่อเสาเข็ม

- ตรวจสอบแบบก่อสร้าง (Shop Drawings) ของเสาเข็ม
- ตรวจสอบแบบหล่อ สภาพฐานแบบหล่อ (Bed) ต้องมีสภาพเหมาะสม แข็งแรงได้แนวและระดับ

งานหล่อเสาเข็ม

- ตรวจสอบจำนวน ขนาด ตำแหน่ง ระยะทาบ ระยะห่างของเหล็กเสริม
- ตรวจสอบจำนวน ขนาด ตำแหน่งของเหล็ก Dowel ตามแบบรายละเอียด
- ตรวจสอบปลายเสาเข็มให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดซึ่งอาจเป็นแบบปลายตัดหรือแบบเหล็กหล่อปลายแหลม
- ตรวจแบบหล่อด้านข้างต้องอยู่ในสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง ไม่คดงอและแบบปิดปลายเสาเข็มต้องตั้งฉากกับแกนเสาเข็ม
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
- ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ได้ตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบตำแหน่งหูยกเสาเข็ม

การเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากช่างผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วนผสมหรือข้อกำหนด หากใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ให้ควบคุมเวลาในการผสมให้เหมาะสม
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ตรวจสอบการขนส่งคอนกรีตจากรถขนส่งไปยังจุดที่ต้องการเทโดยไม่ให้เกิดการแยกตัว ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยในการเทคอนกรีตเพื่อป้องกันการแยกตัวในกรณีที่ระยะปล่อยคอนกรีตสูงเกินกว่า 2.00 เมตร
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเท และเป็นไปตามข้อกำหนด
- ขณะเทคอนกรีตให้เก็บแท่งคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อการทดสอบกำลังอัด
- ตรวจสอบความพร้อมของผู้ปฏิบัติงานและสภาพของเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ให้มีจำนวนเพียงพอและใช้งานได้ดี
- ตรวจกรรมวิธีการเทคอนกรีตของผู้ปฏิบัติงาน เช่น การทำให้คอนกรีตแน่นตัวด้วยเครื่องสั่นสะเทือน การตกแต่งผิวคอนกรีต ขณะเทคอนกรีตตรวจสอบแบบหล่อว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่ เช่น ค้ำยัน น็อต ลิ่ม ฯลฯ ที่ใช้ยึดข้างและปากแบบอาจหลุดหรือชำรุดไม่แข็งแรงเพียงพอ ต้องรีบแก้ไขทันที

- เมื่อเทคอนกรีตแล้วเสร็จ และคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที
- เมื่อถอดแบบออกต้องทำการตรวจสภาพและตกแต่งให้เรียบร้อย

การตอกเสาเข็ม

- ตรวจสอบขนาด ผังตำแหน่ง ของเสาเข็ม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด และลำดับการตอกต้องเหมาะสม
- ตรวจสอบกำลังแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างของเสาเข็มที่จะใช้ตอก
- ตรวจสอบค่าระดับดินเดิมบริเวณผังเสาเข็ม
- ตรวจสอบความแข็งแรงของนั่งร้านปั่นจั่น
- ตรวจสอบฐานปั่นจั่นให้อยู่ในแนวระนาบ และรางบังคับลูกตุ้มของปั่นจั่นต้องไม่คดงอ
- เตรียมพื้นที่สำหรับการกองเสาเข็มเพื่อใช้ประโยชน์ในการชักลากตลอดการยกเสาเข็มขึ้นตั้งเพื่อตอกและต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดความเสียหาย
- ทำเครื่องหมายทุกระยะ 0.50 เมตร ตลอดความยาวของเสาเข็ม
- ทำหมุดหลักฐานไว้สำหรับตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มทุกต้นอย่างน้อย 2 ทิศทาง
- ตรวจสอบแนวแกนเสาเข็มให้ขนานกับรางบังคับลูกตุ้มทั้ง 2 ทิศทาง ทั้งในกรณีตอกเข็มในแนวดิ่งและตอกเข็มในแนวเอียง
- เมื่อเริ่มตอกเสาเข็มให้บันทึกระยะที่ยกลูกตุ้มจำนวนครั้งที่ตอกและระยะที่เสาเข็มจม
- ขณะเริ่มตอกเสาเข็ม และระหว่างการตอกเมื่อพบความคลาดเคลื่อน หรือข้อบกพร่องให้ทำการแก้ไขก่อนดำเนินการตอกเสาเข็มต่อไป ให้ตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มกับหมุดหลักฐานและสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มเป็นระยะ ๆ
- เมื่ออัตราการจมของเสาเข็มจากการตอกใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณความสามารถการรับน้ำหนัก ให้ทำการวัดอัตราการจมเฉลี่ยต่อการตอก 5 ครั้ง จำนวน 3 ค่า หากได้ค่าเฉลี่ยอัตราการจมน้อยกว่าจากการคำนวณให้ถือว่าเสาเข็มรับน้ำหนักได้ตามข้อกำหนด
- หลังจากตอกเสาเข็มแล้วเสร็จ ให้บันทึกตำแหน่ง ระดับ ความสามารถการรับน้ำหนักโดยคำนวณจาก Hiley's Formular หากตำแหน่งเสาเข็มคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งเกินกว่า 75 มม. ทุกทิศทาง ให้รายงานสำนักเจ้าของงาน
- ตรวจสอบค่าการคลาดเคลื่อนของหมุดอ้างอิง
- รวบรวมข้อมูลของเสาเข็มและบันทึกตามแบบฟอร์ม ก.1 พร้อมบันทึกค่าระดับปลายเสาเข็มในแบบ บ. 4.2 ของกรมทางหลวง

เสาเข็มตอกชนิดคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Pile)

ขนาด □ 0.40 x 0.40 เมตร

ขั้นเตรียมการหล่อเสาเข็ม

- ตรวจสอบแบบก่อสร้าง (Shop Drawings) ของเสาเข็ม
- ตรวจสอบแบบหล่อ สภาพฐานแบบหล่อ(Bed) แผ่นรับแรงดึงลวดอัดแรง ต้องมีสภาพเหมาะสมแข็งแรง ได้แนวและระดับ
- ตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับดึงลวดอัดแรงโดยต้องมีใบรับรองการ Calibration ซึ่งมีระยะเวลาไม่เกิน 6 เดือน ประกอบการพิจารณาด้วย

งานหล่อเสาเข็ม

- ตรวจสอบจำนวน ขนาด ตำแหน่ง ระยะทาบ ระยะห่างของเหล็กเสริม
- ตรวจสอบจำนวน ขนาด ตำแหน่งของเหล็ก Dowel ตามแบบรายละเอียด
- ตรวจสอบปลายหัวเสาเข็มให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด ซึ่งอาจเป็นแบบเหล็กปลายตัดหรือแบบเหล็กหล่อปลายแหลม
- ตรวจแบบหล่อด้านข้างต้องอยู่ในสภาพสมบูรณ์แข็งแรงไม่คดงอและแบบปิดปลายเสาเข็มต้องตั้งฉากกับแกนเสาเข็ม
- น้ำมันทาแบบต้องใช้น้ำมันที่ได้รับความเห็นจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
- ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ได้ตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบตำแหน่งหูยกเสาเข็ม
- ตรวจสอบชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ความสะอาด ของลวดอัดแรง (Tendon) ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด
- ตรวจสมอยึด (Grip) โดยให้ปลายสมอยึดไม่เหลื่อมกัน
- ตรวจสอบการดึงลวดอัดแรง โดยให้ดึง Pre-Load ประมาณ 1 ใน 3 ของแรงดึงตามข้อกำหนดในแบบทุกเส้น แล้วทำเครื่องหมายบนลวดอัดแรงทุกเส้น จากนั้นดึงด้วยแรงตามที่กำหนดไว้ โดยจดบันทึกค่าการยืดตัว (Elongation) ตามแรงดึงบนหน้าปัทม์วัดแรงดัน (Pressure Guage) ของลวดอัดแรงทุกเส้น โดยอ่านค่าการยืดตัวที่ดึงด้วยแรงดันที่กำหนด เปรียบเทียบกับค่าการยืดตัวจากการคำนวณ หากค่าการยืดแตกต่างกันให้ใช้ค่าจากการคำนวณ
- ตรวจสอบสภาพของลวดอัดแรงภายหลังการดึง

การเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากช่างผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วนผสมหรือข้อกำหนดหากใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ให้ควบคุมเวลาในการผสมให้เหมาะสม
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว

- ตรวจสอบการขนส่งคอนกรีตจากรถขนส่งไปยังจุดที่ต้องการเทโดยไม่ให้เกิดการแยกตัว ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยในการเทคอนกรีตเพื่อป้องกันการแยกตัวในกรณีที่ระยะปล่อยคอนกรีตสูงเกินกว่า 2.00 เมตร
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเท และเป็นไปตามข้อกำหนด
- ขณะเทคอนกรีตให้เก็บแท่งคอนกรีตตัวอย่างเพื่อการตรวจสอบกำลังอัด
- ตรวจสอบความพร้อมของผู้ปฏิบัติงานและสภาพของเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ให้มีจำนวนเพียงพอและใช้งานได้ดี
- ตรวจกรรมวิธีการเทคอนกรีตของผู้ปฏิบัติงาน เช่น การทำให้คอนกรีตแน่นตัวด้วยเครื่องสั่นสะเทือน การตกแต่งผิวคอนกรีต ขณะเทคอนกรีตตรวจสอบแบบหล่อว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่ เช่น ค้ำยัน น็อต ลิ่ม ฯลฯ ที่ใช้ยึดข้างและปากแบบอาจหลุดหรือชำรุดไม่แข็งแรงเพียงพอ ต้องรีบแก้ไขทันที
- เมื่อเทคอนกรีตแล้วเสร็จ และเมื่อถอดแบบออก ต้องทำการตรวจสภาพและตกแต่งให้เรียบร้อย พร้อมทำการบ่ม และต้องรอผลการทดลองคุณภาพของกำลังอัดของคอนกรีตจากฝ่ายตรวจสอบฯ เมื่อผลทดลองผ่าน จึงทำการตัดลวดอัดแรงตามขั้นตอนต่อไป

การตัดลวดอัดแรง

- ก่อนการตัดลวดอัดแรงต้องตรวจสอบความสามารถการรับกำลังอัด ของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามแบบกำหนด ตรวจสอบ Slip โดยทำเครื่องหมายบนลวดอัดแรงทุกเส้น ทุกช่วงระหว่างเสาเข็ม
- การตัดลวดอัดแรงให้สลับตำแหน่งระหว่างเสาเข็มเพื่อป้องกันเสาเข็มเคลื่อนตัว โดยห้ามใช้ความร้อนในการตัดลวด
- ตรวจสอบการ Slip
- ตรวจสอบการยก การกองเก็บ การขนส่ง โดยการกองเก็บ และการขนส่งให้รองหมอนที่จุดยกเท่านั้น

การตอกเสาเข็ม

- ตรวจสอบขนาด ผังตำแหน่ง ของเสาเข็ม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด และลำดับการตอกต้องเหมาะสม
- ตรวจสอบสภาพ อายุเสาเข็มที่จะใช้ตอก
- ตรวจสอบค่าระดับดินเดิมบริเวณผังเสาเข็ม
- ตรวจสอบความแข็งแรงของนั่งร้านปั่นจั่น
- ตรวจสอบรางบังคับลูกตุ้มของปั่นจั่นต้องไม่คดงอ
- ตรวจสอบฐานปั่นจั่นให้อยู่ในแนวระนาบ
- กรณีตอกเสาเข็มในแนวดิ่งรางบังคับลูกตุ้มของปั่นจั่นต้องอยู่ในแนวดิ่งทั้ง 2 ทิศทาง
- เตรียมพื้นที่สำหรับการกองเสาเข็มเพื่อใช้ประโยชน์ในการชักลากตลอดการยกเสาเข็มขึ้นตั้งเพื่อตอก และต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดความเสียหาย

- ทำเครื่องหมายทุกระยะ 0.50 เมตร ตลอดความยาวของเสาเข็ม
- ทำหมุดหลักฐานไว้สำหรับตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มทุกต้นอย่างน้อย 2 ทิศทาง
- ตรวจสอบแนวแกนเสาเข็มให้ขนานกับรางบังคับลูกตุ้มทั้ง 2 ทิศทาง ทั้งในกรณีตอกเข็มในแนวดิ่งและตอกเข็มในแนวเอียง
- เมื่อเริ่มตอกเสาเข็มให้บันทึกระยะที่ยกลูกตุ้ม จำนวนครั้งที่ตอกและระยะที่เสาเข็มจม
- ขณะเริ่มตอกเสาเข็ม และในระหว่างการตอก หากพบความคลาดเคลื่อน หรือข้อบกพร่องให้ทำการแก้ไขก่อนดำเนินการตอกเสาเข็มต่อไป ให้ตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มกับหมุดหลักฐานและสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มเป็นระยะ ๆ
- เมื่ออัตราการจมของเสาเข็มจากการตอกใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณความสามารถการรับน้ำหนัก ให้ทำการวัดอัตราการจมเฉลี่ยต่อการตอก 5 ครั้ง จำนวน 3 ค่า หากได้ค่าเฉลี่ยอัตราการจมน้อยกว่าจากการคำนวณให้ถือว่าเสาเข็มรับน้ำหนักได้ตามข้อกำหนด
- หลังจากตอกเสาเข็มแล้วเสร็จ ให้บันทึกตำแหน่ง ระดับ ความสามารถการรับน้ำหนักโดยคำนวณจาก Hiley's Formular หากตำแหน่งเสาเข็มคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งเกินกว่า 75 มม. ทุกทิศทาง ให้รายงานสำนักเจ้าของงาน
- ตรวจสอบค่าการคลาดเคลื่อนของหมุดอ้างอิง
- รวบรวมข้อมูลของเสาเข็มและบันทึกตามแบบฟอร์ม ก.1 พร้อมบันทึกค่าระดับปลายเสาเข็มในแบบ บ. 4.2 ของกรมทางหลวง

เสาเข็มตอกชนิดคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Pile)

ขนาด □ 0.525 x 0.525 เมตร และ □ 0.65 x 0.65 เมตร

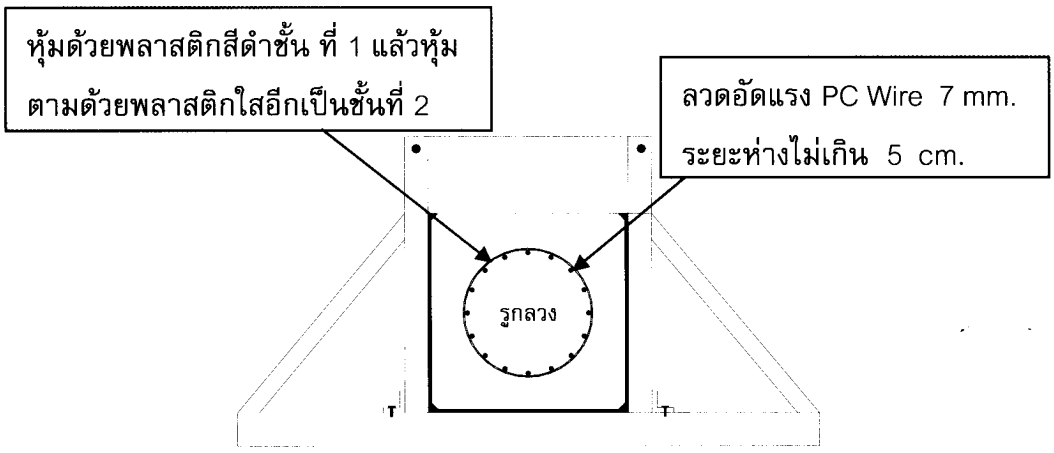
ขั้นเตรียมการหล่อเสาเข็ม

- ตรวจสอบแบบก่อสร้าง (Shop Drawings) ของเสาเข็ม
- ตรวจสอบแบบหล่อ สภาพฐานแบบหล่อ (Bed) แท่น และแผ่นรับแรงดึงลวดอัดแรง ต้องมีสภาพเหมาะสมแข็งแรง ได้แนวและระดับ ไม่มีการทรุดตัว
- ตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับดึงลวดอัดแรงโดยต้องมีใบรับรองการ Calibration ประกอบการพิจารณาด้วย

งานหล่อเสาเข็ม

- ตรวจสอบจำนวน ขนาด ตำแหน่ง ระยะทาบ ระยะห่างของเหล็กเสริม
- ตรวจสอบจำนวน ขนาด ตำแหน่งของเหล็ก Dowel ตามแบบรายละเอียด
- ตรวจสอบปลายเสาเข็มให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด
- ตรวจแบบหล่อด้านข้าง ต้องอยู่ในสภาพสมบูรณ์แข็งแรง ไม่คดงอและแบบปิดปลายเสาเข็มต้องตั้งฉากกับแกนเสาเข็ม
- น้ำมันทาแบบต้องใช้น้ำมันที่ได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้

- ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก (Covering) ให้ได้ตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบตำแหน่งหูยกเสาเข็ม
- ตรวจสอบชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ความสะอาด ของลวดอัดแรง(Tendon) ตามแบบรายละเอียด
- ตรวจสมอยึด (Grip) โดยให้ปลายสมอยึดไม่เหลื่อมกัน
- ตรวจสอบการดึงลวดอัดแรง โดยให้ดึง Pre-Load ประมาณ 1 ใน 3 ของแรงดึงตามข้อกำหนดในแบบทุกเส้น แล้วทำเครื่องหมายบนลวดอัดแรงทุกเส้น แล้วจึงดึงด้วยแรงตามที่กำหนดไว้ โดยจดบันทึกค่าการยืดตัว (Elongation) บนหน้าปัทม์ วัดแรงดัน (Pressure Guage) ของลวดอัดแรงทุกเส้น โดยอ่านค่าความดันที่กำหนดเปรียบเทียบกับค่ายืดตัวจากการคำนวณหากค่าแตกต่างกันให้ใช้ค่าจากการคำนวณ
- ตรวจสอบสภาพของลวดอัดแรงภายหลังการดึง
- ให้เจาะรูระบายอากาศ ทะลุต่ำกว่าระดับหมวก เพื่อป้องกันเสาเข็มแตกขณะตอกเสาเข็ม
- การป้องกันการเคลื่อนลอยตัวไส้ในของเสาเข็ม (รูกลวง) ถ้าไม่มีการยึดบังคับตำแหน่งแน่นอนแข็งแรงเมื่อเทคอนกรีตก็จะทำให้เสาเข็มที่หล่อมีรูกลวงที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งหมายถึงมีความหนาของคอนกรีตไม่เป็นไปตามแบบกำหนด จะทำให้เกิดความเสียหายได้ขณะตอกเสาเข็ม จึงควรมีวิธีการบังคับไส้ในดังกล่าวโดยอาจจะเป็นท่อยางกลมอัดลม หรือดึงลวดอัดแรงแล้วใช้แผ่นพลาสติกพับรอบ ๆ เป็นไส้ใน ดังรูปตัวอย่าง



การเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากช่างผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วนผสมหรือข้อกำหนด หากใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ให้ควบคุมเวลาในการผสมให้เหมาะสม ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว

  ตรวจสอบการขนส่งคอนกรีตจากรถขนส่งไปยังจุดที่ต้องการเทโดยไม่ให้เกิดการแยกตัว ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยในการเทคอนกรีตเพื่อป้องกันการแยกตัวในกรณีที่ระยะปล่อยคอนกรีตสูงเกินกว่า 2.00 เมตร

- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเท และเป็นไปตามข้อกำหนด
- ขณะเทคอนกรีตให้เก็บแท่งคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อการตรวจสอบกำลังอัด
- ตรวจสอบความพร้อมของผู้ปฏิบัติงานและสภาพของเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ให้มีจำนวนเพียงพอและใช้งานได้ดี
- ตรวจกรรมวิธีการเทคอนกรีตของผู้ปฏิบัติงาน เช่น การทำให้คอนกรีตแน่นตัวด้วยเครื่องสั่นสะเทือน การตกแต่งผิวคอนกรีต ขณะเทคอนกรีตตรวจสอบแบบหล่อว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่ เช่น ค้ำยัน น๊อต ลิ่ม ฯลฯ ที่ใช้ยึดข้างและปากแบบอาจหลุดหรือชำรุดไม่แข็งแรงเพียงพอ ต้องรีบแก้ไขทันที
- เมื่อเทคอนกรีตแล้วเสร็จ และคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที เมื่อถอดแบบออกต้องทำการตรวจสภาพและตกแต่งให้เรียบร้อย และต้องรอผลการทดลองคุณภาพของกำลังอัดของคอนกรีตจากฝ่ายตรวจสอบฯ เมื่อผลทดลองผ่าน จึงทำการตัดลวดอัดแรงตามขั้นตอนต่อไป

การตัดลวดอัดแรง

- ก่อนการตัดลวดอัดแรงต้องตรวจสอบความสามารถการรับกำลังอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามแบบกำหนด ตรวจสอบ Slip โดยทำเครื่องหมายบนลวดอัดแรงทุกเส้น ทุกช่วงระหว่างเสาเข็ม
- ทำการตัดลวดอัดแรงตามลำดับ ตามที่แบบกำหนด โดยให้ตัดเรียบเสมอผิวคอนกรีตแล้วทาปลายลวดด้วย Epoxy หรือวัสดุอื่นที่ได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงาน เพื่อป้องกันการเกิดสนิม
- ตรวจสอบการ Slip ของลวดอัดแรงทุกเส้น
- ตรวจสอบการยก การกองเก็บ การขนส่ง โดยการกองเก็บ และการขนส่งให้รองหมอนที่จุดยกเท่านั้น

การตอกเสาเข็ม

- ตรวจสอบขนาด ผังตำแหน่ง ของเสาเข็ม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด และลำดับการตอกต้องเหมาะสม
- ตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของเสาเข็มที่จะใช้ตอก
- ตรวจสอบค่าระดับดินเดิมบริเวณผังเสาเข็ม
- ตรวจสอบความแข็งแรงของนั่งร้านปั่นจั่น
- ตรวจสอบรางบังคับลูกตุ้มของปั่นจั่นต้องไม่คดงอ
- ตรวจสอบฐานปั่นจั่นให้อยู่ในแนวระนาบ
- กรณีตอกเสาเข็มในแนวดิ่งรางบังคับลูกตุ้มของปั่นจั่นต้องอยู่ในแนวดิ่งทั้ง 2 ทิศทาง
- เตรียมพื้นที่สำหรับการกองเสาเข็มเพื่อใช้ประโยชน์การชักลากตลอดการยกเสาเข็มขึ้นตั้งเพื่อตอกและต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดความเสียหาย
- ทำเครื่องหมายทุกระยะ 0.50 เมตร ตลอดความยาวของเสาเข็ม
- ทำหมุดหลักฐานไว้สำหรับตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มทุกต้นอย่างน้อย 2 ทิศทาง

- ตรวจสอบแนวแกนเสาเข็มให้ขนานกับรางบังคับลูกตุ้มทั้ง 2 ทิศทาง ทั้งในกรณีตอกเข็มในแนวดิ่ง และตอกเข็มในแนวเอียง
- เมื่อเริ่มตอกเสาเข็มให้บันทึกระยะที่ยกลูกตุ้ม จำนวนครั้งที่ตอก และระยะเสาเข็มจม
- ขณะเริ่มตอกเสาเข็ม หรือในระหว่างการตอก หากพบความคลาดเคลื่อน ข้อบกพร่องให้ทำการแก้ไขก่อนดำเนินการตอกเสาเข็มต่อไป ให้ตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มกับหมุดหลักฐานและสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มเป็นระยะ ๆ
- เมื่ออัตราการจมของเสาเข็มจากการตอกใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณความสามารถการรับน้ำหนัก ให้ทำการวัดอัตราการจมเฉลี่ยต่อการตอก 5 ครั้ง จำนวน 3 ค่า หากได้ค่าเฉลี่ยอัตราการจมน้อยกว่าจากการคำนวณให้ถือว่าเสาเข็มรับน้ำหนักได้ตามข้อกำหนด
- หลังจากตอกเสาเข็มแล้วเสร็จ ให้บันทึกตำแหน่ง ระดับ ความสามารถการรับน้ำหนักโดยคำนวณจาก Hiley's Formular หากตำแหน่งเสาเข็มคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งเกินกว่า 75 มม. ทุกทิศทาง ให้รายงานสำนักเจ้าของงาน
- ตรวจสอบค่าการคลาดเคลื่อนของหมุดอ้างอิง
- รวบรวมข้อมูลของเสาเข็มและบันทึกตามแบบฟอร์ม ก.1 พร้อมบันทึกค่าระดับปลายเสาเข็มในแบบ บ. 4.2 ของกรมทางหลวง

ภาพถ่ายแสดงการตอกเสาเข็ม

ภาพถ่ายแสดงการตอกเสาเข็ม

เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงแบบแรงเหวี่ยง (Spun Pile)

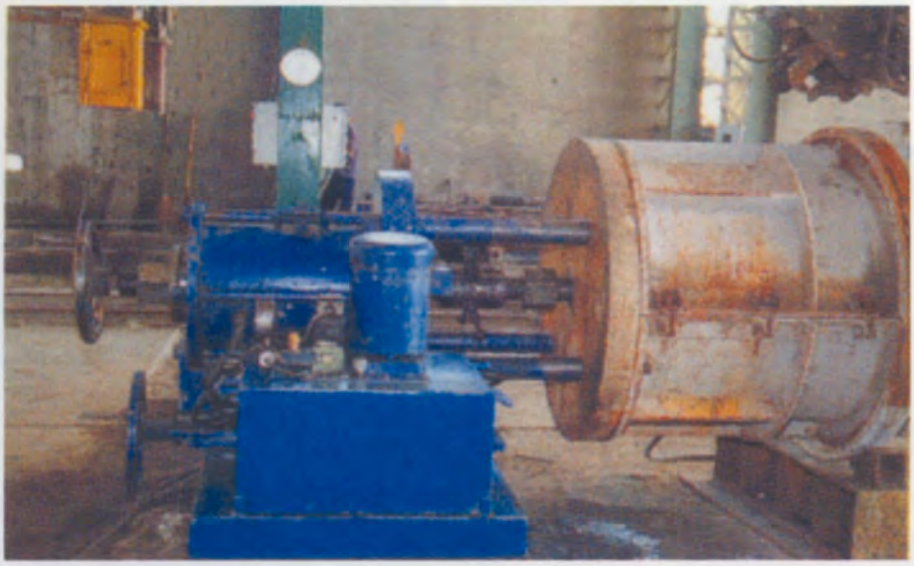
บทนำ

เนื่องจากกรรมวิธีในการผลิตเสาเข็มกลมคอนกรีตอัดแรงแบบแรงเหวี่ยง มีลักษณะที่แตกต่างจากวิธีการผลิตเสาเข็มหน้าตัดเหลี่ยม เครื่องมือและอุปกรณ์จึงมีความแตกต่างกันมากทั้งในแง่ของรูปแบบและเทคโนโลยีการผลิตเสาเข็ม Spun Pile เครื่องมือและอุปกรณ์การผลิต มีดังต่อไปนี้

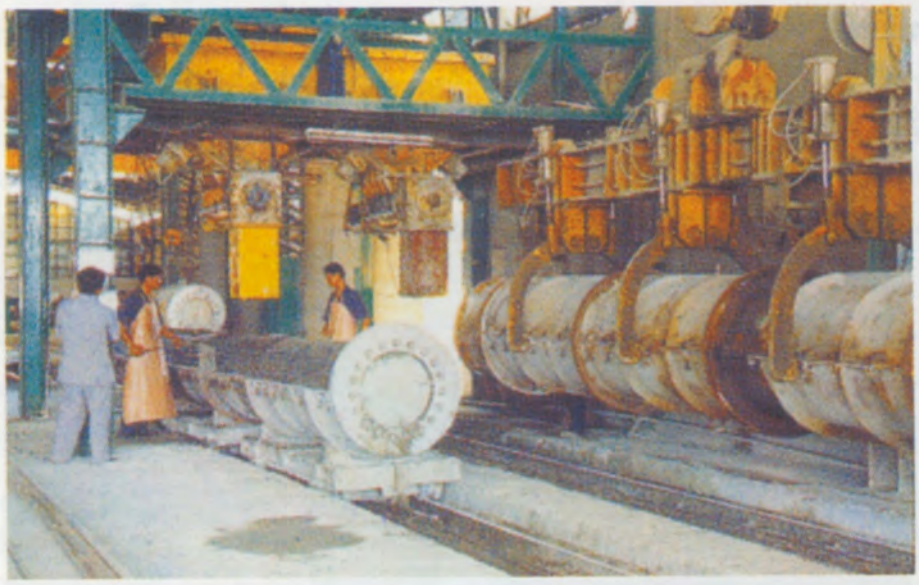
1. **โรงงานผลิต** เนื่องจากอุปกรณ์และเครื่องมือในการผลิตส่วนใหญ่ต้องใช้ระบบไฟฟ้า และระบบอิเลคโทรนิค มีการติดตั้งอยู่กับที่ จึงจำเป็นต้องจัดให้ขบวนการผลิตทั้งหมดอยู่ในอาคารที่มีหลังคาคลุม ขนาดของอาคารโรงงานจะขึ้นอยู่กับลักษณะของกรรมวิธีการผลิต (Production Process) ที่ออกแบบไว้และความสามารถในการผลิต
2. **Overhead Crane** มีความจำเป็นสำหรับการผลิตเป็นอย่างมากเพราะใช้ยกเคลื่อนย้ายชิ้นงานไปตามหน่วยทำงานต่างๆ ภายในโรงงาน ในโรงงานผลิตขนาดใหญ่ต้องมี Overhead Crane ขนาด 5 – 20 ตัน และอาจต้องมีหลายแถว
3. **เครื่องผลิตโครงลวด Spiral อัตโนมัติ** (Automatic Wire Caging Machine) ในโรงงานผลิตขนาดใหญ่ และมีกำลังการผลิตสูง จำเป็นต้องมีเครื่องจักรนี้เพื่อทำโครงลวดแบบ Spiral ขนาดต่างๆ ป้อนให้ขบวนการผลิต แต่ในโรงงานขนาดเล็กและกำลังการผลิตไม่สูงนักอาจทำโครงลวดด้วยมือ

4. **แบบหล่อ** เป็นแบบเหล็กแผ่นที่ขึ้นรูปเป็นลักษณะครึ่งวงกลมทำเป็นท่อนๆ ขนาดยาวประมาณ 2 เมตร มีการเสริมเหล็กรูปพรรณเพื่อให้แข็งแรงประกอบเข้าเป็นแบบกลวงโดยการยึดแน่นด้วยน็อตให้ได้ความยาวตามต้องการ
5. **เครื่องย้ำลวด P.C. Wire** (Up – Setter) ใช้สำหรับย้ำปลายลวด P.C. Wire ให้เป็นรูปหัวตะปู เพื่อยึดกับแผ่นเหล็กรับแรงดึง (Anchor Plate)

6. **ระบบไฮดรอลิค สำหรับดึงลวดอัดแรง** ระบบไฮดรอลิคมีการออกแบบมาเฉพาะสำหรับการใช้งานผลิตเสาเข็มแบบนี้ เนื่องจากในการดึงลวดอัดแรงเป็นการดึงครั้งเดียวทั้งกลุ่ม อาจต้องใช้แรงดึง ตั้งแต่ 60 – 200 ตัน



7. **เครื่องผสมคอนกรีต** (Batching Plant) อาจใช้เครื่องผสมคอนกรีตแบบ Pan Mixer ธรรมดาหรืออาจใช้เครื่องผสมคอนกรีตระบบอัตโนมัติ ควบคุมการทำงานด้วยระบบ Computer ที่ให้คอนกรีตมีคุณภาพสม่ำเสมอมากกว่า ขนาดของกำลังการผลิตมีตั้งแต่ 60.00 ลบ.ม. ต่อชั่วโมงขึ้นไป
8. **ระบบเติมคอนกรีต** (Concrete Feeding System) ระบบการเติมคอนกรีตเข้าแบบหล่อที่ใช้กันมีอยู่ 2 แบบคือ
   - **แบบ Hopper & Drop Filling** ระบบนี้เป็นแบบดั้งเดิมที่ใช้กัน โดยคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้วถูกปล่อยลงในรถลำเลียงคอนกรีตที่เคลื่อนที่ไปตามราง ใช้คนงานเปิดฝา Hopper ให้คอนกรีตไหลลงสู่แบบหล่อ (Mould) ที่เปิดฝาแบบไว้ ปริมาณคอนกรีตที่เติมอาจมีความคลาดเคลื่อนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชำนาญของคนงาน แล้วจึงปิดฝาแบบหล่อ
   - **แบบ Concrete Injection** ระบบนี้ใช้ในโรงงานที่ทันสมัย โดยคอนกรีตผสมเสร็จถูกปล่อยลงสู่ Hopper ของ Concrete pump ใต้ Batching plant แล้วถูก Pump ไปตามท่อเติมคอนกรีตเข้าสู่แบบหล่อ (Mould) ที่ปิดด้านหลังโดยรอบ เปิดเฉพาะที่ปลาย ซึ่งจะวางอยู่บนรางเลื่อน (Injection Trolley) แบบหล่อที่เติมคอนกรีตจะเลื่อนถอยหลังไปจนสิ้นสุดขบวนการเติมคอนกรีต ปริมาณของคอนกรีตถูกควบคุมด้วยระบบอิเลคโทรนิคที่ทันสมัย ปริมาณของคอนกรีตมีความถูกต้องแม่นยำกว่าแบบแรก แล้วปิดรูที่ใช้เติมคอนกรีตด้วยแผ่นยางที่ทำขึ้นพิเศษ ก่อนนำเข้าเครื่องปั่น



9. **เครื่อง Spining Machine** ติดตั้งอยู่บนฐานรากที่แข็งแรง เครื่องนี้มีลักษณะเป็นล้อหมุนคู่วางห่างกันเป็นระยะๆ ทำหน้าที่หมุนแบบหล่อให้รอบแกนตามยาวด้วยความเร็วสูง เพื่อทำให้เกิดแรงเหวี่ยงจนคอนกรีตก่อตัวเป็นรูปทรงกระบอกกลวงโดย DC Motor ที่เป็นต้นกำลังสามารถตั้งเวลา ปรับเพิ่ม และลดความเร็วรอบด้วย Computer ซึ่งระยะเวลาและความเร็วรอบขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มที่ผลิต เมื่อเสร็จสิ้นการปั่นแล้วต้องเทน้ำปูนที่เหลืออยู่ภายในแกนกลวงเสาเข็มออกทางปลายแบบหล่อที่ปิดด้วยแผ่นยาง

ภาพแสดงการปั่นคอนกรีต

10. **ระบบผลิตไอน้ำและบ่อบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำ** (Boiler & Steam Curing Chamber) ในการผลิตเสาเข็มแบบนี้ เมื่อผ่านขั้นตอนการปั่นแล้วคอนกรีตจะถูกเร่งปฏิกิริยา Hydration ด้วยไอน้ำ ดังนั้นภายในโรงงานผลิตจะต้องจัดให้มีหม้อผลิตไอน้ำ (Boiler) และบ่อบ่มไอน้ำ

(Steam Curing Chamber) ขนาดและจำนวนของระบบไอน้ำ บ่อบ่มไอน้ำ จะขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตของโรงงาน ความยาวของบ่อบ่มนี้เป็นปัจจัยหนึ่งของการกำหนดความยาวของเสาเข็มที่ผลิต

11. อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น เครื่องเชื่อมที่เป็นชนิดใช้ลวดเชื่อมและชนิด Spot Weld

ภาพแสดงบ่อบ่มไอน้ำ

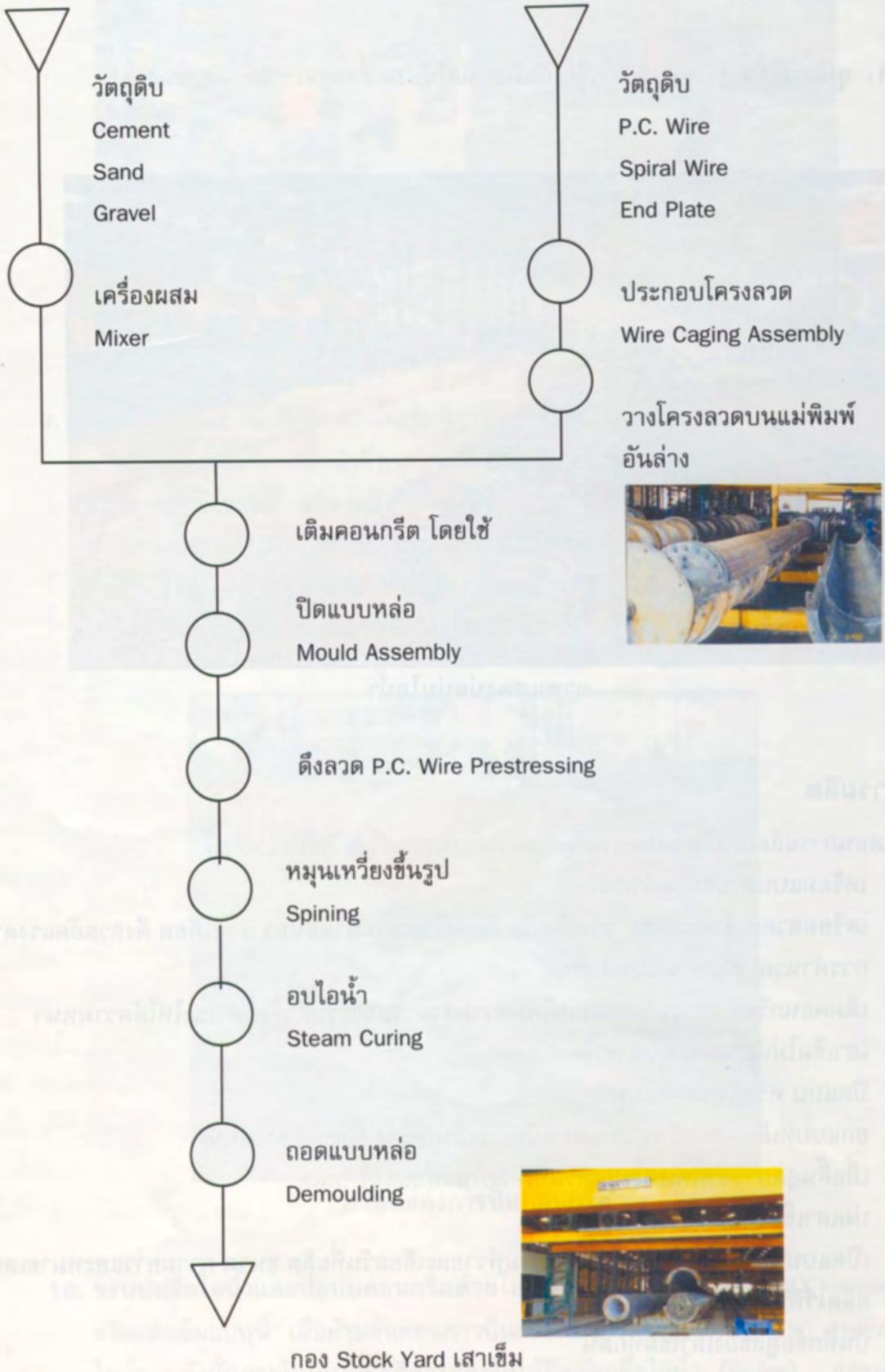
ขั้นตอนการผลิต

ขั้นตอนการผลิตเสาเข็มกลมคอนกรีตอัดแรงแบบแรงเหวี่ยง มีขั้นตอนดังนี้

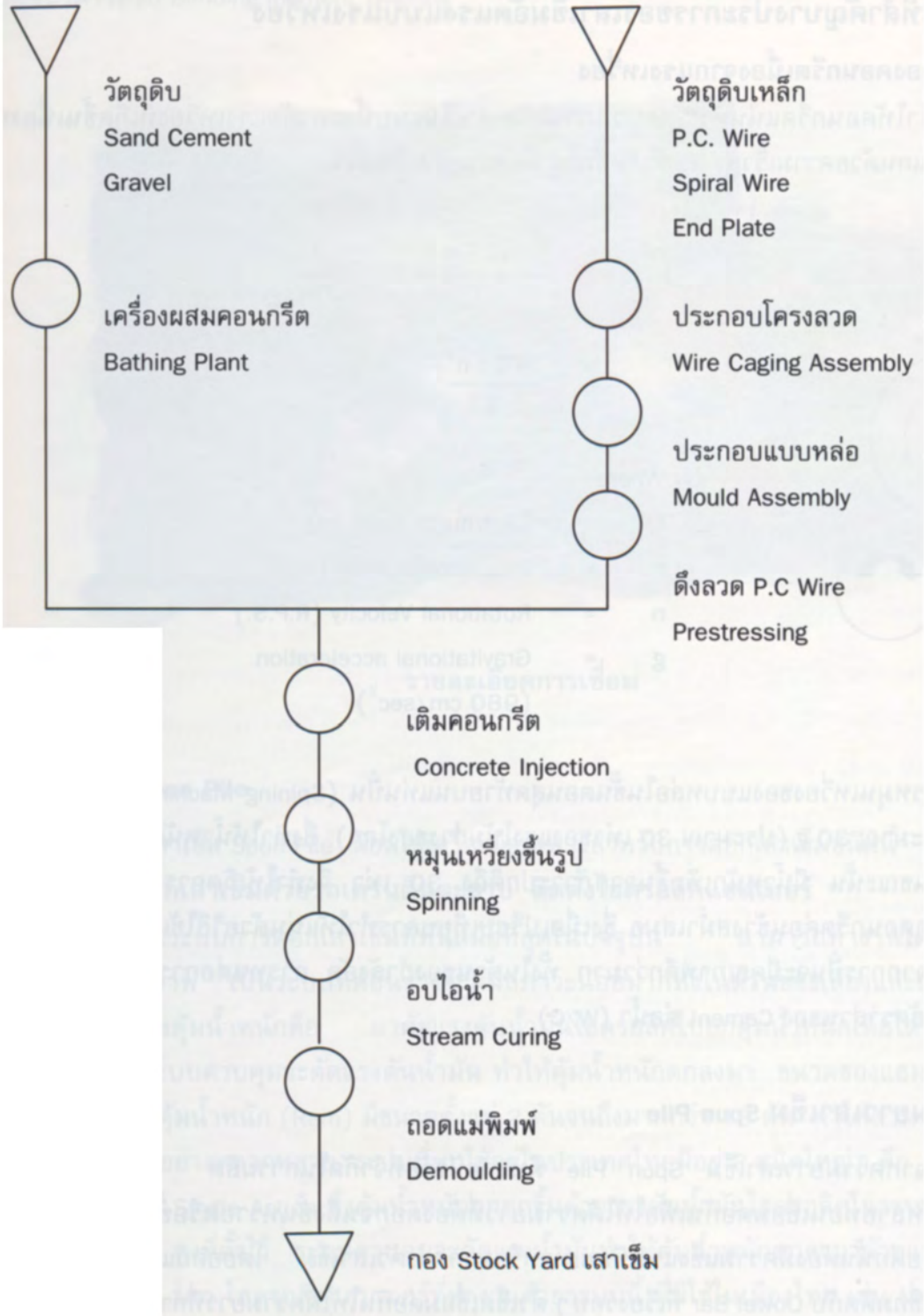
- เตรียมแบบตามขนาดกำหนด
- เตรียมลวดเหล็กตะแกรง ลวดอัดแรง ติดตั้งในสนามตามแบบรายละเอียด ดึงลวดอัดแรงตามการคำนวณ หรือตามแบบกำหนด
- เติมคอนกรีตที่ออกแบบส่วนผสมให้มีความสามารถการรับกำลังอัด และให้ได้ความหนาเสาเข็มไม่น้อยกว่าแบบกำหนด
- ปิดแบบ หรือปิดปลายแบบ
- ยกแบบที่เติมคอนกรีตวางบนแท่นปั่นเริ่มเดินเครื่อง Spining Machine
- เมื่อสิ้นสุดการปั่นให้เทน้ำปูนส่วนที่เหลือในแบบออกให้หมด
- บ่มเสาเข็มในบ่อบ่มไอน้ำ
- เปิดแบบ นำเสาเข็มไปกองเก็บและพิมพ์รายละเอียดวันที่ผลิต ขนาด ความยาวและหมายเลขผลิตไว้ที่ปลายเสาเข็ม
- บันทึกข้อมูลของเสาเข็มทุกต้น

ขั้นตอนการผลิตสามารถเขียนเป็น Flow Chart ได้ดังนี้

ขั้นตอนการผลิต แบบที่ 1



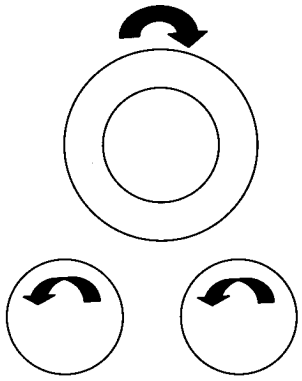
ขั้นตอนการผลิต แบบที่ 2



คุณลักษณะที่สำคัญบางประการของเสาเข็มอัดแรงแบบแรงเหวี่ยง

คุณลักษณะของคอนกรีตเนื่องจากแรงเหวี่ยง

การทำให้คอนกรีตแน่นตัวของขบวนการผลิตเสาเข็มแบบนี้จะอาศัยแรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหมุนรอบแกนด้วยความเร็วสูง แรงที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตเป็นดังนี้



$$nf = \frac{m(2\pi m)^2}{r} = \frac{1}{mg}$$

$$= \frac{4\pi r n^2}{g}$$

Where

f = Centrifugal force (g)

r = Radius of rotation (cm)

n = Rotational Velocity (R.P.S.)

g = Gravitational acceleration (980 cm/sec^2)

ในการหมุนเหวี่ยงของแบบหล่อในขั้นตอนสุดท้ายบนแท่นปั่น (Spining Machine) ทำให้เกิดแรงเหวี่ยง (f) ประมาณ 30 g (ประมาณ 30 เท่าของแรงโน้มถ่วงของโลก) ซึ่งทำให้น้ำหนักของคอนกรีตที่อยู่ในแบบหล่อในขณะนั้น มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากภาวะปกติถึง 30 เท่า จึงทำให้เกิดการอัดตัวแน่นของวัสดุต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการทำให้แน่นด้วยวิธีใช้แรงสั่นสะเทือนแล้วคอนกรีตที่ได้จากการปั่นจะมีคุณภาพดีกว่ามาก ทั้งในด้านของกำลังอัด การทนต่อการกัดกร่อนเนื่องจากการลดลงของอัตราส่วนของ Cement ต่อน้ำ (W/C)

การต่อความยาวเสาเข็ม Spun Pile

เนื่องจากความยาวเสาเข็ม Spun Pile มีหลายปัจจัยที่จำกัดในการผลิต ดังนั้นการตอกอาจจำเป็นต้องใช้หลายท่อนเชื่อมต่อกันเพื่อให้ได้ความยาวที่ต้องตอกจนถึงชั้นทรายหรือชั้นดินแข็ง โดยมีหลักการว่ารอยต่อนั้นต้องมีความแข็งแรงเทียบเท่าหรือมากกว่าตัวเสาเข็ม โดยออกแบบให้ใช้แผ่นเหล็กหนา 9 ม.ม. เชื่อมติดกับ Dowel Bar ที่เรียงรอบๆ ตัวเข็มเชื่อมต่อกันให้ได้ความยาวที่กำหนด

จากการทดลองทำ Bending Test เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างเสาเข็มท่อนเดียว และเสาเข็มสองท่อนต่อเชื่อม ซึ่งมีโครงสร้างของรอยต่อเป็นแผ่นเหล็ก ยึดติดกับเสาเข็มด้วย P.C. Wire แต่ไม่มี Steel band ผลการทดลองปรากฏว่าในช่วง Elastic Limit เสาเข็มสองท่อนต่อเชื่อมมี Flexer Stiffness น้อยกว่าเสาเข็มท่อนเดียวเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นเหล็กแยกตัวออกจากเนื้อคอนกรีต ค่าแรงกดเมื่อเกิดการเริ่มแตกร้าว (Initial Cracking) มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ต่อมาได้มีการปรับปรุงโครงสร้างให้มีความแข็งแรงขึ้น

โดยการเพิ่มปลอกเหล็กรอบเสาเข็ม และเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กที่ปลายเสาเข็ม ผลการทดลองปรากฏว่ารอยต่อสามารถรับ Bending Moment ได้สูงขึ้น

รายละเอียดการเชื่อม

การตอกเข็ม Spun Pile

การตอกเสาเข็ม Spun Pile นิยมใช้เครื่องมือเฉพาะสำหรับการตอกเสาเข็มชนิดนี้

- **การตอกเสาเข็มด้วยรถเครนตีนตะขาบ ติดตั้งไฮดรอลิคแฮมเมอร์**

เป็นระบบการตอกเสาเข็มที่ทันสมัยที่สุดในปัจจุบัน สามารถทำงานได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เป็นระบบที่ค่อนข้างจะมีมลภาวะน้อยมากทั้งในด้านของเสียงและฝุ่นควัน การทำงานของตุ้มน้ำหนักคือ อาศัยแรงดันน้ำมันไฮดรอลิคไปยกตุ้มน้ำหนักเมื่อได้ระยะยกตามที่ต้องการระบบควบคุมจะตัดแรงดันน้ำมัน ทำให้ตุ้มน้ำหนักตกลงมา ขนาดของแฮมเมอร์แบ่งตามขนาดของตุ้มน้ำหนัก (Ram) มีขนาดตั้งแต่ 2 ตันจนถึงมากกว่า 10 ตัน ทำให้สามารถเลือกใช้กับเสาเข็มได้อย่างหลากหลาย ระบบที่พบใช้อยู่ในประเทศไทยมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. Single Action ซึ่งตุ้มน้ำหนักถูกยกขึ้นด้วยแรงดันน้ำมันไฮดรอลิคในระบบ เมื่อถึงระยะสูงที่ตั้งไว้ ระบบควบคุมจะตัดแรงน้ำมันทำให้ตุ้มน้ำหนักตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ไฮดรอลิคแฮมเมอร์ที่ทำงานด้วยระบบนี้ ที่มีใช้ในเมืองไทย เช่น Menck Hammer ของเยอรมัน BSP. ของอังกฤษ และ Hitachi Nippon Concrete ของญี่ปุ่น ฯลฯ
2. Double Action การยกขึ้นและตกลงมาของตุ้มน้ำหนักทำงานโดยแรงดันของน้ำมัน การทำงานก็จะคล้ายๆกับแบบแรก คือเมื่อตุ้มน้ำหนักถูกยกจนถึงระยะที่ตั้งไว้ระบบควบคุมจะกลับทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิคทำให้การยกขึ้นกลับกลายเป็นการ

ดันลูกตุ้มลง แรงดันของไฮดรอลิคบวกแรงโน้มถ่วงของโลกทำให้ความเร็วตกกระทบของลูกตุ้มน้ำหนักมีค่าสูงขึ้น สามารถเทียบเท่าได้กับระยะตกอิสระที่สูงกว่าระยะยกจริง

รถเครนตีนตะขาบ ติดตั้งไฮดรอลิคแฮมเมอร์

ขั้นตอนการตอกเสาเข็ม SPUN

- ตรวจสอบตำแหน่งเข็ม ตามผังแบบก่อสร้าง และค่าระดับของดินเดิมหรือนั่งร้านปั้นจั่น
- ตรวจสภาพของเสาเข็มต้องไม่มีรอยหัก รอยแตกร้าว พร้อมจดบันทึกขนาดและความยาว หมายเลข วันหล่อหรือผลิต ของเสาเข็มต้นที่จะตอก
- ทำเครื่องหมายตัวเลขและขีดเส้นแบ่งระยะบนเสาเข็มทุกๆ 1.00 ม. และขีดเส้นแบบย่อยในทุกช่วง 1.00 ม.นั้นตามข้อกำหนดตามขนาดของเสาเข็มแต่ละขนาดมีการขีดเส้นแบ่งเป็นช่วงย่อยไม่เท่ากัน เช่น เสาเข็มขนาด ∅ 800 มม. ที่มีความหนา 120 มม. (Wall Thicknes) แบ่งช่วงละ 25 ซม. ตลอดความยาว โดยต้องให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจนเมื่อมองจากระยะที่ควบคุมเพื่อจดบันทึกตรวจสอบการตอกเสาเข็ม
- เมื่อปั่นจั่นยกเสาเข็มขึ้นตั้งเพื่อตอก ต้องตรวจสอบความดิ่งอย่างน้อย 2 ทิศทางหรือความเอียงของเสาเข็มตามแบบกำหนด
- ทำหลักหมุดไว้สำหรับตรวจสอบการหนีตำแหน่งของเข็ม ควรตรวจสอบเป็นระยะๆ ตลอดการตอกเสาเข็ม
- จดบันทึกจำนวนครั้งในการตอกเสาเข็มจมดินตามระยะที่ได้ขีดแบ่งไว้ที่บนเสาเข็ม
- ตรวจสอบความดิ่ง หรือมุมเอียง แล้วแต่กรณี รวมทั้งวัดระยะจากหลักที่ปักไว้ตรวจสอบการหนีตำแหน่งของเสาเข็ม หากมีความคลาดเคลื่อนต้องรีบแก้ไข
- เมื่อสังเกตจากจำนวนครั้งในการตอกแล้ว และคาดว่าจะได้ Blow Count ตามรายการคำนวณการรับน้ำหนักของเข็มที่กำหนดไว้ ก็ให้ทำการตรวจสอบ Blow Count ซึ่งเป็นการตรวจสอบโดยใช้กระดาษกราฟมาใช้ประกอบในการตรวจสอบ ตามค่าที่ต้องการจดบันทึกค่าตรวจสอบที่ได้ ลงในแบบฟอร์ม พร้อมกับลงระดับหัวเสาเข็ม

การตอกเสาเข็มขนาด 0.65 X0.65 ในทะเล

บทนำ

การตอกเสาเข็มในทะเล ต่างจากการตอกเสาเข็มบนบก แม่น้ำหรือลำคลอง เนื่องจากไม่สามารถทำนั่งร้านปั้นจั่น เพื่อการตอกเสาเข็มในทะเลได้ จำเป็นต้องใช้แพขนานยนต์ซึ่งมีชุดปั้นจั่นติดตั้งสำหรับตอกเสาเข็มที่สามารถปรับทิศทาง ความลาดเอียงของการตอกเสาเข็มได้ การกำหนดตำแหน่งของเสาเข็มต้องใช้กล้องแนวเป็นตัวกำหนด เพื่อให้ได้ค่าพิกัดตามต้องการ

ข้อมูลเบื้องต้น

- ข้อมูลเจาะสำรวจชั้นดิน (Boring Log)
- ค่าระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด ในแต่ละวัน
- ค่าระดับ Pile cap
- ตำแหน่งของเสาเข็ม ค่าความลาดเอียง (Slope) ของเสาเข็ม
- ค่าพิกัด (Co-Ordinate) ค่าระดับหมุดหลักฐาน (BM) ของตำแหน่งจุดตั้งกล้องแต่ละตัว
- ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม
- น้ำหนักตุ้มปั้นจั่นที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม

เครื่องมือและอุปกรณ์

- อุปกรณ์ในการสำรวจ ได้แก่ กล้องแนว 3 ตัว กล้องวัดระยะ กล้องระดับ ไม้ Staff เทปวัดระยะ ฯลฯ
- แพขนานยนต์ ที่ติดตั้งชุดปั้นจั่นสำหรับการตอกเสาเข็ม
- แพขนานยนต์ สำหรับลำเลียงเสาเข็ม
- แพขนานยนต์ สำหรับบรรทุกรถขุด (Back hoe) สำหรับขุดลอกร่องน้ำ
- เรือหางยาว
- วิทยุสื่อสาร

การเตรียมงานตอกเสาเข็ม

- เตรียมแบบรายละเอียดการก่อสร้าง (Shop Drawings) แสดงตำแหน่งของเสาเข็มแต่ละต้นในตอม่อ โดยกำหนดหมายเลข และตำแหน่งของเสาเข็มทุกต้น เพื่อสะดวกในการควบคุม บันทึกรายละเอียด
- เตรียมแบบฟอร์มการบันทึกรายละเอียดการตอกเสาเข็ม
- ทำหมุดหลักฐาน แนวศูนย์กลางตอม่อ พร้อมแนว Off -Set
- เตรียมนั่งร้าน (Platform) ในทะเลสำหรับงานสำรวจ เพื่อกำหนดตำแหน่งตอม่อ ให้มีระยะห่างจาก แนวสะพานที่ก่อสร้างพอประมาณ โดยคำนึงถึงความสะดวกในการปฏิบัติงานของแพขนานยนต์

วิธีการคำนวณตำแหน่งพิกัดของเสาเข็ม

คำนวณโดยใช้วิธี Co-Ordinate

ตัวอย่าง การวางแนวตอกเสาเข็ม

ตัวอย่าง Azimuth ตามแนวสะพาน $154^{\circ}-36'-40''$

สมมุติค่า N,E ที่ตอม่อตับที่ 1. ได้ $N_1 = 1000$, $E_1 = 1000$

- **กล้องตัวที่ 1** ตั้งอยู่บนฝั่ง ตรงตำแหน่งของเสาเข็มต้นที่ B กำหนดตำแหน่งของเสาเข็มในทิศทางตามความยาวของสะพานโดย Offset 2.80 m จาก Center line ของสะพาน
- **กล้องตัวที่** 2 (หาค่าพิกัด)

สูตร $N = \text{Cos}(AZ).L+N_1$

$E = \text{Sin}(AZ).L+E_1$

$L = 831.300$ m.

$AZ = 154^{\circ}-36'-40''$

แทนค่า $N_2 = \cos[(154^{\circ}-36'-40'')\times 831.30]+1000 = 248.988$

$E_2 = \sin[(154^{\circ}-36'-40'')\times 831.30]+1000 = 1356.428$

- **กล้องตัวที่** 3 (หาค่าพิกัด)

$L = 870.000$

$AZ = 154^{\circ}-36'-40''$

$N_3 = \cos[(154^{\circ}-36'-40'')\times 870.000+1000 = 214.026$

$E_3 = \sin[(154^{\circ}-36'-40'')\times 870.000+1000 = 1373.021$

หาพิกัดเสาเข็มต้นที่ 6

$AZ = (154^{\circ}-36'-40'')+90^{\circ} = (244^{\circ}-36'-40'')$

$L = 12.70$ m.

$N_6 = \cos[(244^{\circ}-36'-40'')\times 12.70]+248.988 = 243.542$

$E_6 = \sin[(244^{\circ}-36'-40'')\times 12.70]+1356.428 = 1344.955$

หามุม AZ จาก A–B

จากสูตร $\text{Tan}\,\alpha = \dfrac{E6-E3}{N6-N3} = \dfrac{1344.955-1373.021}{243.542-214.026}$

$\text{Tan}\,\alpha = \dfrac{-28.066}{29.51}$

$\text{Tan}\,\alpha = -0.9508$

$\alpha = 43.5575$

ค่า E เป็น – ค่า N เป็น + อยู่ใน Quadrant ที่ 4 บวกด้วย 360°

AZ จาก A B $= 360-43.5575$

$= 316.4424 \quad (316^{\circ}-26'-32.60'')$

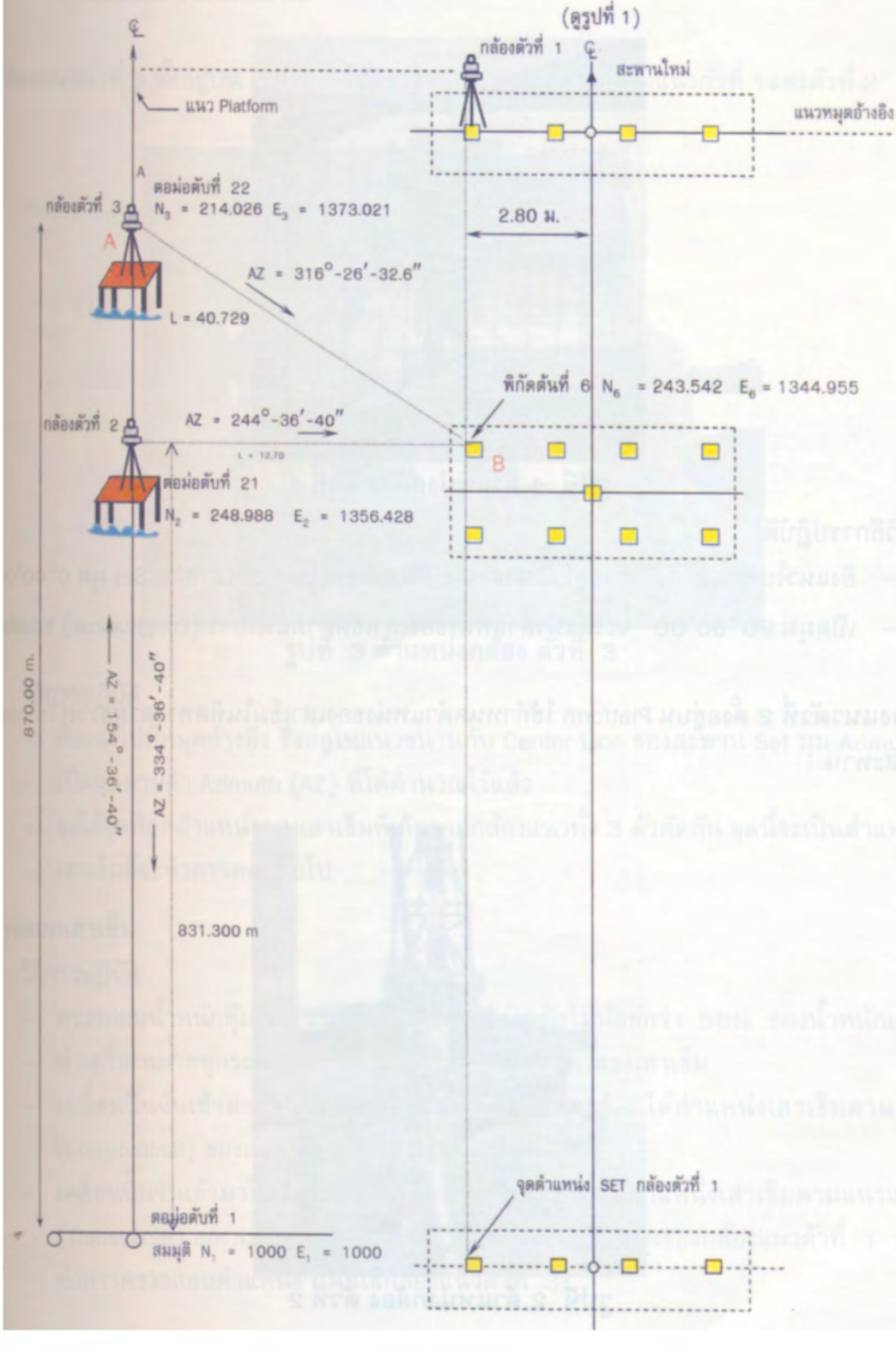
คำนวณระยะจากจุด A ไป B

จากสูตร $L = \sqrt{(N_3-N_6)^2+(E_3-E_6)^2}$

$$L = \sqrt{(214.026-243.542)^2+(1373.021-1344.955)^2}$$

$$L = 40.729 \text{ เมตร}$$

การวางตำแหน่งเสาเข็มที่ตำแหน่ง B



ขั้นตอนการตอกเสาเข็ม

1. **กล้องแนวตัวที่ 1** ตั้งอยู่บนฝั่งหรือตอม่อ ใช้กำหนดตำแหน่งของเสาเข็มในทิศทางตามแนวความยาว (Longitudinal) ของสะพาน โดยวางให้ตรงกับตำแหน่งขอบนอกของเสาเข็มที่จะทำการตอก ซึ่งได้ offset ระยะจากแนว Center line ของสะพานไว้แล้ว

รูปที่ 1 ตำแหน่งกล้อง ตัวที่ 1

วิธีการปฏิบัติ

- ยิงแนวไปที่หมุดอ้างอิงซึ่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับ Center Line ของสะพาน Set มุม 0°00′00″
- เปิดมุม 90°00′00″ จะได้แนวตำแหน่งของเสาเข็มตามแนวยาว (Longitudinal) ของสะพาน

2. **กล้องแนวตัวที่ 2** ตั้งอยู่บน Platform ใช้กำหนดตำแหน่งของเสาเข็มในทิศทางตามขวาง(Transverse) ของสะพาน

รูปที่ 2 ตำแหน่งกล้อง ตัวที่ 2

วิธีการปฏิบัติ

- ยิงแนวไปที่หมุดอ้างอิงซึ่งอยู่ในแนวขนานกับ Center Line ของสะพานที่ Set มุม Azimuth (AZ)
- เปิดมุมตามค่า Azimuth (AZ) ที่ได้คำนวณไว้แล้วจะได้แนวตำแหน่งเสาเข็มตามแนวขวาง (Transverse) ของสะพาน

3. กล้องแนวตัวที่ 3 ตั้งอยู่บน Platform ใช้ตรวจสอบหาจุดตัดของกล้องแนวตัวที่ 1 และตัวที่ 2

รูปที่ 3 ตำแหน่งกล้อง ตัวที่ 3

วิธีการปฏิบัติ

- ยิงแนวไปที่หมุดอ้างอิง ซึ่งอยู่ในแนวขนานกับ Center Line ของสะพาน Set มุม Azimuth (AZ)
- เปิดมุมตามค่า Azimuth (AZ) ที่ได้คำนวณไว้แล้ว
- จะได้จุดพิกัดตำแหน่งของเสาเข็มที่เกิดจากกล้องแนวทั้ง 3 ตัวตัดกัน จุดนี้จะเป็นตำแหน่งของเสาเข็มที่จะทำการตอกต่อไป

4. การตอกเสาเข็ม

วิธีการปฏิบัติ

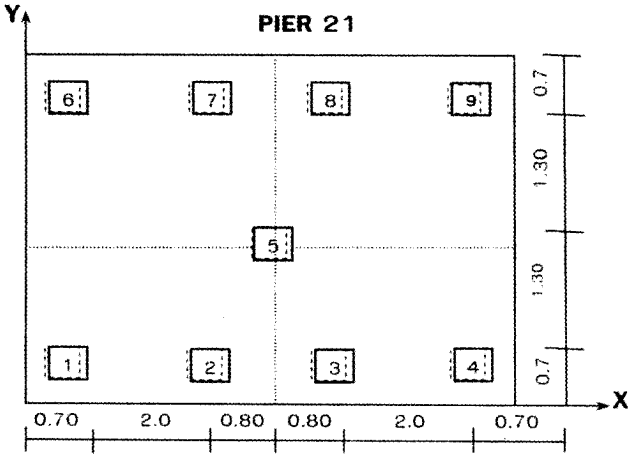
- ตรวจสอบน้ำหนักตุ้มปั้นจั่นที่ใช้ตอกเสาเข็มต้องหนักไม่น้อยกว่า 50% ของน้ำหนักเสาเข็ม
- ทำเครื่องหมายทุกระยะ 0.50 เมตร ตลอดความยาวของเสาเข็ม
- เคลื่อนปั้นจั่นเข้ามาในทิศทางของกล้องแนวตัวที่ 1 ได้ตำแหน่งเสาเข็มตามแนวยาว (Longitudinal) ของสะพาน
- เคลื่อนปั้นจั่นเข้ามาในทิศทางของกล้องแนวตัวที่ 2 ได้ตำแหน่งเสาเข็มตามแนวแนวขวาง (Transverse) ของสะพานในขณะเดียวกันให้ตรวจสอบทิศทางของกล้องแนวตัวที่ 1 ด้วย
- ทำการตรวจสอบตำแหน่ง โดยใช้กล้องแนวตัวที่ 3

- การปรับตำแหน่งพิกัดของเสาเข็มที่อยู่บนแพปั้นจั่น โดยการกว้านสมอเพื่อปรับทิศทาง ซ้าย-ขวา หน้า-หลัง ของแพปั้นจั่นก็จะได้ตำแหน่งเสาเข็มตามที่ต้องการ แล้วทำการปักเสาเข็ม
- ปักเสาเข็มแล้ว ต้องทำการตรวจสอบตำแหน่งอีกครั้งว่า เกิดการ Slide ของเสาเข็มหรือไม่ หากเกิดขึ้นก็ให้ทำการแก้ไข โดยปักเผื่อระยะที่ Slide ไว้ เมื่อได้ตำแหน่งแล้วให้ทำการตอกเสาเข็มต่อไป
- เมื่อเริ่มตอกเสาเข็มให้บันทึกระยะที่ยกลูกตุ้ม จำนวนครั้งที่ตอก และระยะที่เสาเข็มจมลง
- ขณะเริ่มตอกเสาเข็ม และระหว่างการตอกเสาเข็ม หากพบความคลาดเคลื่อน หรือข้อบกพร่องให้ทำการแก้ไขก่อนดำเนินการตอกเสาเข็มต่อไป ให้ตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มและสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มเป็นระยะๆ
- เมื่ออัตราการจมของเสาเข็มจากการตอกใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักให้ทำการวัดอัตราการจมเฉลี่ยต่อการตอก 5 ครั้ง จำนวน 3 ค่า หากได้ค่าเฉลี่ยอัตราการจมน้อยกว่าจากการคำนวณจากสูตร Hiley's Formula ให้ถือว่า เสาเข็มรับน้ำหนักได้ตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบค่าการคลาดเคลื่อนจากกล้องแนว
- รวบรวมข้อมูลของเสาเข็ม และบันทึกตามแบบฟอร์ม ก.1 พร้อมบันทึกค่าระดับปลายเสาเข็มในแบบ บ. 4.2 ของกรมทางหลวง

การตรวจสอบตำแหน่งศูนย์กลางของเสาเข็มภายหลังการตอก

การหนีศูนย์ของเสาเข็มอาจจะเกิดจาก Pile Alignment กับแนวปั้นจั่นขณะตอกไม่ตรงกัน หรือแรงดันของดินทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม หรือเกิดกระแสน้ำไหลเชี่ยวทำให้แพขนานยนต์ปั้นจั่นเคลื่อนตัว แต่อย่างไรก็ตามควรมีวิธีการตรวจสอบการหนีศูนย์ของเสาเข็มภายหลังจากการตอกเสาเข็มแล้วเสร็จเพื่อสามารถสรุปได้ว่า เสาเข็มกลุ่มนี้สามารถรับน้ำหนักได้ตามข้อกำหนด

การตรวจสอบตำแหน่งศูนย์กลางของเสาเข็มภายหลังการตอก



= ตำแหน่งตอกได้จริง = ตำแหน่งตามแบบ

X	Y
X1 = 0.700	Y1 = 0.690
X2 = 2.685	Y2 = 0.705
X3 = 4.200	Y3 = 0.700
X4 = 6.260	Y4 = 0.690
X5 = 3.400	Y 5 = 2.000
X6 = 0.730	Y 6 = 3.240
X7 = 2.690	Y 7 = 3.300
X8 = 4.330	Y 8 = 3.330
X9 = 6.300	Y 9 = 3.360

$$\bar{X} = \frac{(0.70+2.685+4.22+6.26+3.4+0.73+2.69+4.33+6.30)}{9}$$

$\bar{X} = 31.315/9 = 3.479$ M.

$$\bar{Y} = \frac{0.69+0.705+0.70+0.69+2.00+3.24+3.30+3.33+3.36}{9}$$

$\bar{Y} = 18.015/9 = 2.002$ M.

CENTRIOD $= (3.479)^2+(2.002)^2$

$= 4.014$ M.

ผลต่าง $= 4031.1-4014 = 17.1$ mm. < 75 mm.

การหนีศูนย์จากการตอก

กรณีเป็นเสาเข็มกลุ่มให้หนีศูนย์ออกจากตำแหน่งในผังของฐานรากได้ตามข้อกำหนดของ AASHTO 75 mm.

เมื่อเสาเข็มหัก หรือ หนีศูนย์เกินข้อกำหนด เสาเข็มกลุ่มนี้ก็ไม่สามารถที่จะรับแรงได้ เนื่องจากเกิดแรงเยื้องศูนย์กระทำในแนวแกนเพิ่มขึ้น รายงานให้สำนักเจ้าของงานทราบ

เรือโป๊ะเหล็กตอกเสาเข็ม
ระวาง 2,000 T.

หัวตอกเสาเข็ม Hydraulic ยี่ห้อ Menck รุ่น MHF
ตุ้มหนัก 5-10 Ton

เรือท้องแบนสำหรับลำเลียงเสาเข็ม
ระวาง 500 T.

เรือเหล็กลากจูงกำลังขับเคลื่อน 200 แรงม้า

เรือไม้ชักลาก

ตำแหน่งเสาเข็มเมื่อตอกแล้วเสร็จ

ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

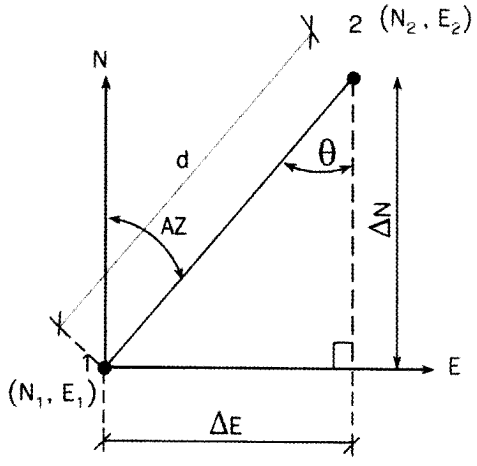
ปัญหา	สาเหตุ	การป้องกัน การแก้ไข
1. หัวเสาเข็มแตก	– Over Compressive Stress จาก Impact ของปั้นจั่นที่มากเกินไป – Pile Cushion ไม่พอเพียง	– ใช้น้ำหนักตุ้ม ให้เหมาะสมกับน้ำหนักเสาเข็ม – โดยการควบคุมระยะยกใช้ตุ้มขนาดใหญ่ยกเตี้ยๆ ดีกว่าตุ้มเล็กยกสูง – โดยการเพิ่ม Pile Cushion ให้หนาขึ้น
	– Bending Stress เนื่องมาจากพื้นที่หน้าตัดหัวเสาเข็มไม่สม่ำเสมอ หรือไม่ตั้งฉากทำให้แรงกระแทกจากลูกตุ้มเกิดเฉพาะจุดใดจุดหนึ่งแทนที่จะทั่วทั้งพื้นที่หัวเสาเข็ม	– จัดระนาบให้ตั้งฉากกับหน้าปั้นจั่นที่กระแทกลงบนพื้นที่หัวเข็ม ควบคุมการผลิตเสาเข็มจากโรงงานผลิต
	– มี Reinforcement บริเวณหัวเสาเข็มไม่เพียงพอ	– เพิ่มเหล็กเสริมให้เพียงพอ โดยเฉพาะบริเวณส่วนหัวเสาเข็ม
	– Concrete เป็นโพรงบริเวณหัวเสาเข็ม	– ควบคุมการผลิต เนื่องจากบริเวณหัวเสาเข็มมีเหล็กเสริมเป็นจำนวนมากทำให้เกิดความยุ่งยากในการเทคอนกรีต
2. เสาเข็มหัก	– Over Compressive Stress จากแรงกระแทกของปั้นจั่นมากเกินไป หรือ Pile Cushion น้อยเกินไป	– ควบคุมการตอก – เพิ่ม/เปลี่ยน Pile Cushion
	– ในกรณีเสาเข็มกลวง (Hollow Pile) ขั้นตอนการผลิต อาจทำให้พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มจะมีความหนาไม่เท่ากัน เมื่อทำการตอกจะทำให้เสาเข็มหัก	– ควบคุมการผลิต โดยเฉพาะแบบกลวงที่อยู่ด้านใน ต้องติดตั้งให้แน่นหนาเพื่อไม่ให้เกิดการยกตัวของแบบขณะเทคอนกรีต

ปัญหา	สาเหตุ	การป้องกัน การแก้ไข
3. เสาเข็มหนีศูนย์	– จาก Pile Alignment กับแนวของปั้นจั่นขณะทำการตอกไม่ตรงกัน	– ควบคุมคุณภาพการตอกเสาเข็ม โดยเฉพาะช่วงน้ำขึ้น–น้ำลง ต้องระวังเป็นพิเศษเพราะทำให้สมอแพปั้นจั่นรั้งไว้ไม่อยู่ ทำให้เกิดการเคลื่อนตัว
	– แรงดันด้านข้างของดิน เนื่องจากมีการเคลื่อนตัวเมื่อทำการตอกเสาเข็ม	– จัดแผนภูมิการตอกเสาเข็มให้มีลักษณะควบคุมการเคลื่อนที่ของดินในทิศทางเดียวกัน
	– ความผิดพลาดเนื่องจากการ Survey	– ต้องทำการตรวจสอบให้ถูกต้องก่อนทำการตอกเสาเข็ม และต้องทำการ Double Check อยู่เสมอ

ภาคผนวก

การหาระบบพิกัด (Co-ordinate)

1. เมื่อรู้พิกัดของจุดที่ 1 รู้ระยะทางและทิศทาง Azimuth ที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 สามารถรู้จุดพิกัดของจุดที่ 2 ได้



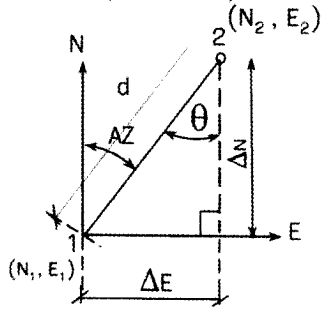
$N_2 = N_1 + \Delta N$

$N_2 = N_1 + d \cos(AZ)$

$E_2 = E_1 + \Delta E$

$E_2 = E_1 + d \sin(AZ)$

2. เมื่อรู้พิกัดของจุดที่ 1 และจุดที่ 2 จะสามารถหาระยะทางและทิศทาง Azimuth ของจุดที่ 1 ไปจุดที่ 2 ได้

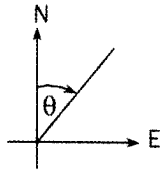


$\Delta N = N_2 - N_1$

$\Delta E = E_2 - E_1$

$d = \sqrt{(\Delta N)^2 + (\Delta E)^2}$

$\hat{AZ} = \text{Tan}^{-1}\left[\frac{\Delta E}{\Delta N}\right]$

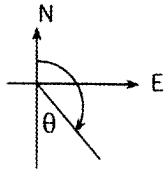


Quadrant ที่ 1

ΔN เป็น +

ΔE เป็น +

$\hat{AZ} = \theta$

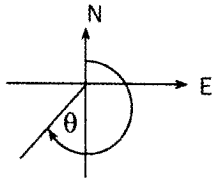


Quadrant ที่ 2

ΔN เป็น -

ΔE เป็น +

$\hat{AZ} = 180 - \theta$

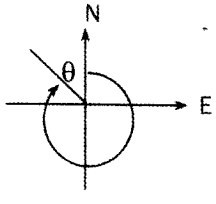


Quadrant ที่ 3

ΔN เป็น -

ΔE เป็น -

$\hat{AZ} = 180 + \theta$



Quadrant ที่ 4

ΔN เป็น +

ΔE เป็น -

$\hat{AZ} = 360 - \theta$

งานเสาเข็มเจาะ

บทนำ

งานเสาเข็มเจาะมีความสำคัญ และความจำเป็นสำหรับงานก่อสร้างอาคาร สะพาน และสิ่งก่อสร้างต่างๆ โดยเฉพาะกรณีที่เสาเข็มต้องแบกรับน้ำหนักมากๆ จากสิ่งก่อสร้างด้านบน และมากเกินกว่าที่เสาเข็มชนิดเสาตอกจะแบกรับน้ำหนักนั้นได้ หรือในกรณีพื้นที่ก่อสร้างมีข้อจำกัดทำให้ไม่สามารถออกแบบก่อสร้างฐานรากเป็นเสาเข็มชนิดเสาตอกได้ เช่น แรงสะเทือนของเสาเข็มตอกทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคารข้างเคียง พื้นที่ก่อสร้างคับแคบทำให้ปั้นจั่นทำงานไม่ได้ เป็นต้น การออกแบบเลือกใช้ขนาดเสาเข็มเจาะและความยาวอย่างถูกต้องเหมาะสมกับสภาพชั้นดิน และการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ ซึ่งทำด้วยวิธีการที่ถูกต้อง จะทำให้เสาเข็มเจาะสามารถรองรับน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างได้อย่างปลอดภัยตามที่ต้องการ

ข้อมูลเบื้องต้น

- ลักษณะภูมิประเทศ และข้อมูลทางธรณีวิทยาของชั้นดิน ในบริเวณที่ทำการก่อสร้าง
- ข้อมูลรายละเอียดการรับน้ำหนักและความยาวเสาเข็มเจาะของสิ่งก่อสร้างที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง
- ลักษณะและคุณภาพของน้ำใต้ดินในบริเวณที่ทำการก่อสร้าง

เครื่องมือและอุปกรณ์

- รถขุด (Backhoe) และรถยก (Crawler Crain)
- เครื่องจักรขุดเจาะเสาเข็ม เครื่องตอกและถอนปลอกเหล็กแบบสั่นสะเทือน
- เครื่องมือตรวจสอบสภาพหลุมเจาะ (Drilling Monitor) และเครื่องมือทดสอบความสมบูรณ์เสาเข็ม (Sonic Logging) ฯลฯ

ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

- ศึกษารูปแบบการก่อสร้าง และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องโดยละเอียด
- สำรวจชั้นดินบริเวณที่ขุดเจาะเสาเข็ม และคำนวณ กำหนดความยาวของเสาเข็ม เสนอสำนักสำรวจและออกแบบตรวจสอบเพื่อให้ความเห็นชอบ
- สำรวจแนว ตำแหน่ง และระดับก่อสร้างของฐานรากแล้วทำหมุดหลักฐานอ้างอิงไว้ เพื่อใช้กำหนดตำแหน่ง ระดับของเสาเข็มเจาะ และเพื่อการตรวจสอบความถูกต้องภายหลังจากการก่อสร้างเสาเข็มแล้วเสร็จ หมุดหลักฐานอ้างอิงดังกล่าวควรมีการตรวจสอบความถูกต้อง และปรับแก้โดยวิธีการทำวงรอบปิด (Closed Traverse) อย่างสม่ำเสมอ และตำแหน่งหมุดหลักฐานควรอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ถูกรบกวนได้โดยง่าย
- กำหนดความยาว และความหนาของปลอกเหล็ก (Casing) ของเสาเข็มเจาะให้เหมาะสมกับสภาพชั้นดินที่สำรวจได้ โดยปลายปลอกเหล็กต้องฝังอยู่ในชั้นดินแข็ง (Hard Clay) และมีความ

ลึกเพียงพอที่จะทำให้เกิดความต้านทาน (Friction) ซึ่งสามารถแบกรับน้ำหนักของปลอกเหล็กและเหล็กเสริมของเสาเข็มเจาะได้ ปลายด้านบนของปลอกเหล็กต้องมีระดับสูงกว่าพื้นดินเพียงพอที่สามารถทำงานได้สะดวก

- ผูกเหล็กเสริมเสาเข็มเจาะตามแบบก่อสร้างไว้เป็นท่อน ความยาวท่อนละประมาณ 12 เมตร พร้อมกับใส่ Concrete Cover Block ทุกๆ ระยะ 3 เมตร โดยรอบ และเตรียมอุปกรณ์ยึดต่อเหล็กเสริมไว้
- กรณีแบบกำหนดให้มีการทดสอบคุณภาพเสาเข็ม หรือกำหนดให้ปรับปรุงสภาพชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม ด้วยการอัดฉีดน้ำปูน ให้ติดตั้งท่อเหล็กกลม (Steel Pipe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 50 มม. อย่างน้อย 4 ท่อ ไว้กับเหล็กเสริมเสาเข็มเจาะที่ผูกเตรียมไว้ก่อนแล้วด้วย หรือตามที่แบบระบุไว้เป็นอย่างอื่น
- ในกรณีทำการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะโดยวิธี Static Load Test และนำเสาเข็มเจาะที่ใช้งานจริงเป็นเข็มสมอ (Anchor Pile) จะต้องคำนวณแรงดึงที่เกิดขึ้น และออกแบบเหล็กเสริมรับแรงดึงเสริมไว้ในเสาเข็มต้นที่ใช้ทำเข็มสมอให้เพียงพอ
- เตรียมเอกสาร แบบฟอร์ม หรือตารางที่ต้องใช้ในการจดบันทึกข้อมูลต่างๆในขณะทำการขุดเจาะและเทคอนกรีตเสาเข็ม

ขั้นตอนการก่อสร้าง

- ตรวจสอบสภาพพื้นดินบริเวณก่อสร้างเสาเข็มเจาะ ต้องมีความแข็งแรงมั่นคงพอสำหรับเครื่องจักร และเครื่องมือขุดเจาะเสาเข็มทำงานได้อย่างสะดวกปลอดภัย
- ตรวจสอบความถูกต้องของหมุดหลักฐานอ้างอิง และกำหนดตำแหน่งเสาเข็มที่จะทำการเจาะโดยการติดตั้งคอกล้อมรอบตำแหน่งปักปลอกเหล็กเสาเข็มไว้
- ปักปลอกเหล็กเสาเข็มลงในคอกที่เตรียมไว้ และตรวจสอบความดิ่งของปลอกเหล็กอย่างน้อย 2 ทิศทาง แล้วเริ่มกดปลอกเหล็กด้วยเครื่องสั่นสะเทือน โดยต้องตรวจสอบความดิ่งตลอดการตอกจนได้ระดับความลึกที่ต้องการ ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งต้องไม่เกิน 10 ซม. และความเบี่ยงเบนแนวดิ่งไม่เกิน 1 : 100 หรือตามที่มีข้อกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น
- ทำการขุดเจาะชั้นดินในปลอกเหล็กลงไปด้วยหัวขุดเจาะประเภทต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของสภาพชั้นดิน เช่น Auger, Bucket โดยต้องขนย้ายดินที่ขุดขึ้นมาจากหลุมเจาะไปไว้ห่างจากปากหลุมที่เจาะเพื่อป้องกันหลุมพัง
- ตรวจสอบลักษณะดินที่ขุดขึ้นมาจากความลึกชั้นต่างๆ ของหลุมเจาะ เก็บตัวอย่าง และบันทึกข้อมูลไว้พิจารณาเปรียบเทียบกับข้อมูลชั้นดิน (Boring Log) ที่ได้จากการสำรวจไว้ก่อนแล้ว ในกรณีที่ลักษณะดินที่ปลายเสาเข็มเจาะคลาดเคลื่อนจากข้อมูลดินที่สำรวจไว้ก่อนแล้ว ให้รายงานสำนักเจ้าของงานพิจารณาทันที
- เมื่อการขุดเจาะชั้นดินพ้นจากปลายปลอกเหล็กลงไป ให้ใส่ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (Drilling Fluids) ที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดลงในหลุมเจาะ และคอยรักษาระดับของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะให้เป็นไปตามข้อกำหนดตลอดเวลา

- วัดความลึกของหลุมเจาะด้วยเทปวัด ตรวจสอบขนาดของหลุมเจาะ และความดิ่งของหลุมเจาะด้วยเครื่องมือตรวจสอบ Drilling Monitor เช่น เครื่อง KODEN (DM-684) หรือตามที่แบบกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น สภาพหลุมเจาะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ ให้ได้ตามข้อกำหนดตลอดการขุดเจาะ เช่น ความหนาแน่น (Density) ความหนืด (Viscosity) ความเป็นกรด-ด่าง (ค่า PH) ปริมาณ Sand Content เป็นต้น
- ใส่เหล็กเสริมเสาเข็มเจาะพร้อมท่อเหล็กกลม (Steel Pipe) ที่ผูกเตรียมไว้แล้วลงในหลุมเจาะให้แล้วเสร็จโดยเร็ว ทำการเชื่อมต่อเหล็กเสริมด้วยอุปกรณ์เชื่อมต่อ และเชื่อมต่อท่อเหล็กกลมแต่ละท่อนด้วยหัวเชื่อมไฟฟ้า ปิดปลายท่อเหล็กกลมไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เศษวัสดุ หรือคอนกรีตอุดตัน
- กำจัดตะกอนที่ก้นหลุมเจาะเสาเข็มด้วยวิธีที่เหมาะสม เช่น วิธี Air Lifts ก่อนการเทคอนกรีตโดยใช้ความดัน (Pressure) ที่เหมาะสม ไม่ทำให้ก้นหลุมเกิดความเสียหาย หรือใช้วิธีการอื่นที่แบบกำหนด
- ตรวจสอบความลึกและขนาดของหลุมเจาะอีกครั้ง คำนวณปริมาณคอนกรีตที่ต้องใช้ เก็บตัวอย่างของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะจากก้นหลุมขึ้นมาตรวจสอบคุณสมบัติ ในระหว่างรอการเทคอนกรีตให้หมุนเวียนของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะตลอดเวลา
- ควบคุมระยะเวลาการทำงานตั้งแต่ขุดเจาะหลุมแล้วเสร็จจนถึงเริ่มทำการเทคอนกรีต ไม่ควรเกิน 6 ชั่วโมง หรือตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนด
- เทคอนกรีตลงสู่ก้นหลุมเจาะด้วยท่อ Tremie ซึ่งมีรายละเอียดความยาวแต่ละท่อน และขนาดท่อ Tremie ที่ใช้ควรมีขนาดเหมาะสมกับขนาดเสาเข็มเจาะ ปลายท่อ Tremie ห่างจากก้นหลุมประมาณ 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุกั้นระหว่างของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะกับคอนกรีตที่เท เช่น เม็ดโฟม ใส่ในท่อ Tremie หนาประมาณ 25 – 30 เซนติเมตร ปิดทับด้วยแผ่นสังกะสีก่อนเทคอนกรีต
- ตรวจสอบปริมาณคอนกรีตขณะเทให้สัมพันธ์กับความลึกของหลุมเจาะตามปริมาณที่ได้คำนวณไว้ และด้วยการวัด ดึงท่อ Tremie ขึ้นตามระดับคอนกรีตที่สูงขึ้นในหลุมเจาะ โดยให้ปลายท่อ Tremie จมอยู่ใต้ระดับของคอนกรีตไม่น้อยกว่า 2 เมตร ตลอดเวลาตามข้อกำหนด
- เทคอนกรีตจนเต็มล้นปากปลอกเหล็กเสาเข็มเจาะเพื่อให้คอนกรีตที่ผสมกับตะกอน เม็ดโฟม และของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะล้นทิ้งไป
- ใช้เครื่องถอนปลอกเหล็กแบบสั่นสะเทือน ถอนปลอกเหล็กออกจากหลุมเจาะก่อนคอนกรีตเริ่มแข็งตัว ระวังเหล็กเสริมติดปลอกเหล็กขึ้นมาทำให้เสาเข็มเสียหาย
- เมื่อเทคอนกรีตแล้วเสร็จอย่างน้อย 7 วัน ให้ทำการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มเจาะด้วยเครื่องมือทดสอบ โดยวิธี Sonic Logging หรือวิธีที่ระบุในแบบ ผลทดสอบต้องมีวิศวกรผู้เชี่ยวชาญลงนามรับรองทุกหน้า
- ทำการเจาะคอนกรีตที่ปลายท่อเหล็กกลม (Steel Pipe) ที่เตรียมไว้ทั้ง 4 ท่อ จนทะลุถึงชั้นดินใต้เสาเข็ม เพื่อทดสอบความสามารถในการรับแรงของชั้นดิน (End Bearing Capacity) โดยวิธี CPT (Cone Penetration Test) หรือ SPT (Standard Penetration Test) หรือตามที่ระบุไว้ใน

ข้อกำหนด หากความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นดินใต้เสาเข็มมีค่าน้อยกว่าตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนด ต้องปรับปรุงสภาพดินที่ปลายเสาเข็มโดยวิธีการอัดฉีดน้ำปูน (Grouting Injection) หรือวิธีการอื่น และต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนดำเนินการ

- กรณีแบบกำหนดให้ปรับปรุงคุณภาพชั้นดินที่ปลายเสาเข็มเจาะ ให้ดำเนินการเช่นเดียวกับข้อที่ผ่านมา โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือทดสอบสภาพชั้นดิน
- การขุดเจาะเสาเข็มต้นต่อไปภายในฐานรากเดียวกัน ต้องทำห่างจากเสาเข็มต้นที่ดำเนินการขุดเจาะ และเทคอนกรีตแล้วเสร็จไม่น้อยกว่า 6 เมตร หรือตามแบบกำหนดไว้ และไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง
- การทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะโดยวิธี Static Load Test ต้องไม่ทำให้เสาเข็มสมอที่เป็นเสาเข็มใช้งานด้วย (Working Pile) เกิดความเสียหาย
- บันทึกข้อมูลที่สำคัญไว้ในแบบฟอร์ม หรือตารางที่เตรียมไว้ ตลอดการขุดเจาะเสาเข็มและเทคอนกรีตจนแล้วเสร็จ

ตรวจสอบแนวดิ่งของปลอกเหล็ก (Steel Casing)

ขุดเจาะดินด้วยเครื่องจักรและหัวเจาะแบบ Bucket

การต่อเหล็กเสริมของเสาเข็มเจาะ

เหล็กเสริมเสาเข็มเจาะที่ผูกเตรียมไว้

ใช้ท่อ Tremie ในการเทคอนกรีตจากก้นหลุมขึ้นมา

ขณะทำการเทคอนกรีต น้ำยา Bentonite จะล้นออกมา
และใช้ Pump ดูดกลับมา Recycle ใช้ได้ใหม่

เครื่อง Vibrator ดึงปลอกเหล็กขึ้น

เสาเข็มเจาะที่ถอนขึ้นมาพร้อมกับปลอกเหล็ก
เพราะคอนกรีตเริ่มแข็งตัว ใช้งานไม่ได้

งานเสาเข็มเจาะ (กลางน้ำ)

บทนำ

งานเสาเข็มเจาะกลางน้ำมีความแตกต่างจากงานเสาเข็มเจาะบนพื้นดินทั่วไป คือ ต้องใช้ปลอกเหล็ก (Casing) เป็นแบบเสาเข็มอย่างถาวร (Permanent Casing) โดยขนาดและความยาวของปลอกเหล็กที่ใช้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบและสภาพชั้นดินใต้ท้องน้ำบริเวณที่ทำการขุดเจาะเสาเข็มนั้น เครื่องจักรและเครื่องมือที่ใช้ในการขุดเจาะเสาเข็มกลางน้ำไม่มีความแตกต่างจากการขุดเจาะเสาเข็มบนพื้นดิน แต่ขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพของชั้นดิน ซึ่งต้องเลือกใช้ประเภทหัวเจาะให้เหมาะสมกับชั้นดินนั้นๆ สิ่งที่สำคัญสำหรับงานขุดเจาะเสาเข็มกลางน้ำ คือ การก่อสร้างสะพานนั่งร้าน (Jetty) หรือ การทำเกาะทราย (Sand Island) หรือ การใช้แพ (Barge, Pontoon) สำหรับให้เครื่องจักรและเครื่องมือขุดเจาะทำงานได้อย่างสะดวกปลอดภัย ซึ่งต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพลำน้ำ การจราจรทางน้ำ และงบประมาณค่าก่อสร้าง การทำงานเสาเข็มเจาะกลางน้ำต้องคำนึงถึงวิธีการลำเลียงคอนกรีตไปยังตำแหน่งที่ก่อสร้าง การอำนวยความสะดวกปลอดภัยในการทำงาน และการสัญจรผ่านบริเวณก่อสร้างของเรือต่างๆด้วย

ข้อมูลเบื้องต้น

- ลักษณะภูมิประเทศ ความกว้างและความลึกของลำน้ำ ข้อมูลทางธรณีวิทยาของชั้นดิน ข้อมูลระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด การขึ้นลงของระดับน้ำในแม่น้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ และการกัดเซาะของกระแสน้ำ
- ปริมาณการจราจรทางน้ำ ประเภทของเรือที่ผ่านแม่น้ำช่วงที่ทำการก่อสร้าง
- ระเบียบ และกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างรุกล้ำลำน้ำ เช่น พระราชบัญญัติเดินเรือในน่านน้ำไทย พ.ศ.2456 รวมทั้งระเบียบปฏิบัติที่เกี่ยวข้อง การติดตั้งเครื่องหมาย และสัญญาณที่จำเป็นสำหรับการจราจรทางน้ำ วิธีปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุทางน้ำในระหว่างทำการก่อสร้าง

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เรือยนต์ แพยนต์ และแพบรรทุกขนาดใหญ่ (Barge or Pontoon)
- รถขุด (Backhoe) และรถยก (Crawler Crain)
- เครื่องจักรขุดเจาะเสาเข็ม และเครื่องตอกปลอกเหล็ก หรือเสาเหล็กแบบสั่นสะเทือน
- เครื่องมือตรวจสอบสภาพหลุมเจาะ (Drilling Monitor) และเครื่องมือทดสอบความสมบูรณ์เสาเข็ม (Sonic Logging) ฯลฯ

ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

- ศึกษารูปแบบการก่อสร้าง และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องโดยละเอียด
- สำรวจชั้นดินบริเวณที่ขุดเจาะเสาเข็ม และคำนวณ กำหนดความยาวของเสาเข็ม เสนอสำนักสำรวจและออกแบบตรวจสอบและให้ความเห็นชอบ

- สำรวจแนว ตำแหน่ง และระดับก่อสร้างของฐานรากแล้วทำหมุดหลักฐานอ้างอิงไว้ เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งและระดับของเสาเข็มเจาะกลางน้ำ และเพื่อการตรวจสอบความถูกต้องภายหลังจากการก่อสร้างเสาเข็มแล้วเสร็จ หมุดหลักฐานอ้างอิงดังกล่าวควรมีการตรวจสอบความถูกต้อง และปรับแก้โดยวิธีการทำวงรอบปิด (Closed Traverse) อย่างสม่ำเสมอ และตำแหน่งหมุดหลักฐานควรอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ถูกรบกวนได้โดยง่าย
- กำหนดความยาว และความหนาของปลอกเหล็ก (Casing) ของเสาเข็มตามสภาพชั้นดินที่สำรวจได้ โดยปลายปลอกเหล็กต้องฝังอยู่ในชั้นดินแข็ง (Hard Clay) และมีความลึกเพียงพอที่จะทำให้เกิดความต้านทาน (Friction) ซึ่งสามารถรองรับน้ำหนักของเหล็กเสริมเสาเข็มเจาะได้ ปลายด้านบนของปลอกเหล็ก (Casing) ต้องสูงกว่าระดับน้ำสูงสุด และมีความสูงเพียงพอที่สามารถทำงานได้สะดวก ในกรณีนั่งร้านสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดต้องต่อความยาวปลอกเหล็ก (Casing Adapter) ให้สูงขึ้นกว่าระดับนั่งร้าน
- ผูกเหล็กเสริมเสาเข็มเจาะตามแบบก่อสร้างไว้เป็นท่อน ความยาวท่อนละประมาณ 12 เมตร พร้อมกับใส่ Concrete Cover Block ทุกๆ ระยะ 3 เมตร โดยรอบ และเตรียมอุปกรณ์ยึดต่อเหล็กเสริมไว้
- กรณีแบบกำหนดให้มีการทดสอบคุณภาพเสาเข็ม และสภาพชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม ให้ติดตั้งท่อเหล็กกลม (Steel Pipe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร อย่างน้อย 4 ท่อ ไว้กับเหล็กเสริมเสาเข็มเจาะที่ผูกเตรียมไว้แล้ว
- ในกรณีทำการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะโดยวิธี Static Load Test และนำเสาเข็มเจาะที่ใช้งานจริงเป็นเข็มสมอ (Anchor Pile) โดยต้องคำนวณแรงดึงที่เกิดขึ้น และออกแบบเหล็กเสริมรับแรงดึงเสริมไว้ในเสาเข็มต้นที่ใช้ทำเข็มสมอให้เพียงพอ
- เตรียมเอกสาร แบบฟอร์ม หรือตารางที่ต้องใช้ในการจดบันทึกข้อมูลต่างๆในขณะทำการขุดเจาะและเทคอนกรีตเสาเข็ม

ขั้นตอนการก่อสร้าง

- ก่อสร้างสะพานนั่งร้าน (Jetty) ไปยังจุดก่อสร้างเสาเข็ม หรือทำเกาะทราย (Sand Island) หรือใช้แพ (Barge, Pontoon) สำหรับติดตั้งเครื่องมือและเครื่องจักรเพื่อการขุดเจาะเสาเข็ม
- ตรวจสอบความถูกต้องของหมุดหลักฐานอ้างอิง และกำหนดตำแหน่งเสาเข็มที่จะทำการเจาะโดยการติดตั้งคอกล้อมรอบตำแหน่งปักปลอกเหล็กเสาเข็มไว้
- ปักปลอกเหล็กเสาเข็มลงในคอกที่เตรียมไว้ และตรวจสอบความดิ่งของปลอกเหล็กอย่างน้อย 2 ทิศทาง แล้วเริ่มกดปลอกเหล็กด้วยเครื่องสั่นสะเทือน โดยต้องตรวจสอบความดิ่งตลอดการตอกจนได้ระดับความลึกที่ต้องการ ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งต้องไม่เกิน 10 ซม. และความเบี่ยงเบนแนวดิ่งไม่เกิน 1 : 100 หรือตามที่มีข้อกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น
- ทำการขุดเจาะชั้นดินในปลอกเหล็กลงไปด้วยหัวขุดเจาะประเภทต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของสภาพชั้นดิน เช่น Auger, Bucket หรือ Reverse Circulation โดยต้องขนย้ายดินที่ขุดขึ้นมาจากหลุมเจาะไปไว้บนฝั่ง หรือในกรณีที่ขุดเจาะบนแพ (Barge, Pontoon) จะต้องเตรียมแพขนย้ายดินที่ขุดด้วย
- ตรวจสอบลักษณะดินที่ขุดขึ้นมาจากความลึกชั้นต่างๆ ของหลุมเจาะ เก็บตัวอย่าง และบันทึกข้อมูลไว้พิจารณาเปรียบเทียบกับข้อมูลชั้นดิน (Boring Log) ที่ได้จากการสำรวจไว้ก่อนแล้ว ในกรณีที่ลักษณะ

ดินที่ปลายเสาเข็มเจาะคลาดเคลื่อนจากข้อมูลดินที่สำรวจไว้ก่อนแล้ว ให้รายงานสำนักเจ้าของงานพิจารณา

- เมื่อการขุดเจาะชั้นดินพ้นจากปลายปลอกเหล็กลงไป ให้ใส่ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (Drilling Fluids) ที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดลงในหลุมเจาะ และคอยรักษาระดับของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะให้อยู่สูงกว่าระดับน้ำในแม่น้ำไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร ตลอดเวลา
- วัดความลึกของหลุมเจาะด้วยเทปวัด ตรวจสอบขนาดของหลุมเจาะ และความดิ่งของหลุมเจาะด้วยเครื่องมือตรวจสอบ Drilling Monitor เช่น เครื่อง KODEN (DM-684) สภาพหลุมเจาะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ ให้ได้ตามข้อกำหนดตลอดการขุดเจาะ เช่น ความหนาแน่น (Density) ความหนืด (Viscosity) ความเป็นกรด-ด่าง (ค่า PH) ปริมาณ Sand Content เป็นต้น
- ใส่เหล็กเสริมเสาเข็มเจาะพร้อมท่อเหล็กกลม (Steel Pipe) ที่ผูกเตรียมไว้แล้วลงในหลุมเจาะให้แล้วเสร็จโดยเร็ว ทำการเชื่อมต่อเหล็กเสริมด้วยอุปกรณ์เชื่อมต่อ และเชื่อมต่อท่อเหล็กกลมแต่ละท่อนด้วยหัวเชื่อมไฟฟ้า ปิดปลายท่อเหล็กกลมไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เศษวัสดุ หรือคอนกรีตอุดตัน
- กำจัดตะกอนที่ก้นหลุมเจาะเสาเข็มด้วยวิธี Air Lifts ก่อนการเทคอนกรีต โดยใช้ความดัน (Pressure) ที่เหมาะสม ไม่ทำให้ก้นหลุมเกิดความเสียหาย
- ตรวจสอบความลึกและขนาดของหลุมเจาะอีกครั้ง คำนวณปริมาณคอนกรีตที่ต้องใช้ เก็บตัวอย่างของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะจากก้นหลุมขึ้นมาตรวจสอบคุณสมบัติ ในระหว่างรอการเทคอนกรีตให้หมุนเวียนของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะตลอดเวลา
- ควบคุมระยะเวลาการทำงานตั้งแต่ขุดเจาะหลุมแล้วเสร็จจนถึงเริ่มทำการเทคอนกรีต ไม่ควรเกิน 6 ชั่วโมง หรือตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนด
- เทคอนกรีตลงสู่ก้นหลุมเจาะด้วยท่อ Tremie ซึ่งมีรายละเอียดความยาวแต่ละท่อน และขนาดท่อ Tremie ที่ใช้ควรมีขนาดเหมาะสมกับขนาดเสาเข็มเจาะ ปลายท่อ Tremie ห่างจากก้นหลุมประมาณ 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุกั้นระหว่างของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะกับคอนกรีตที่เท เช่น เม็ดโฟม ใส่ในท่อ Tremie หนาประมาณ 25 – 30 เซนติเมตร ปิดทับด้วยแผ่นสังกะสีก่อนเทคอนกรีต
- ตรวจสอบปริมาณคอนกรีตขณะเทให้สัมพันธ์กับความลึกของหลุมเจาะตามปริมาณที่ได้คำนวณไว้ และด้วยการวัด ดึงท่อ Tremie ขึ้นตามระดับคอนกรีตที่สูงขึ้นในหลุมเจาะ โดยให้ปลายท่อ Tremie จมอยู่ใต้ระดับของคอนกรีตไม่น้อยกว่า 2 เมตร ตลอดเวลาตามข้อกำหนด
- เทคอนกรีตจนเต็มล้นปากปลอกเหล็กเสาเข็มเจาะเพื่อให้คอนกรีตที่ผสมกับตะกอน เม็ดโฟม และของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะล้นทิ้งไป โดยต้องมีภาชนะรองรับคอนกรีตส่วนเกินไว้นำไปทิ้งบนฝั่ง
- เมื่อเทคอนกรีตแล้วเสร็จอย่างน้อย 7 วัน ให้ทำการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มเจาะด้วยเครื่องมือทดสอบ โดยวิธี Sonic Logging หรือวิธีที่ระบุในแบบ ผลทดสอบต้องมีวิศวกรผู้เชี่ยวชาญรับรอง
- ทำการเจาะคอนกรีตที่ปลายท่อเหล็กกลม(Steel Pipe)ที่เตรียมไว้ทั้ง 4 ท่อ จนทะลุถึงชั้นดินใต้เสาเข็มเพื่อทดสอบความสามารถในการรับแรงของชั้นดิน(End Bearing Capacity) โดยวิธี CPT(Cone Penetration Test) หรือ SPT(Standard Penetration Test) หรือตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนด หากความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นดินใต้เสาเข็มมีค่าน้อยกว่าตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนด

ต้องปรับปรุงสภาพดินที่ปลายเสาเข็มโดยวิธีการอัดฉีดน้ำปูน (Grouting Injection) หรือวิธีการอื่น และต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนดำเนินการ

- การขุดเจาะเสาเข็มต้นต่อไปภายในฐานรากเดียวกัน ต้องทำห่างจากเสาเข็มต้นที่ดำเนินการขุดเจาะและเทคอนกรีตแล้วเสร็จไม่น้อยกว่า 6 เมตร หรือตามแบบกำหนดไว้ และไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง
- การทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธี Static Load Test ต้องไม่ทำให้เสาเข็มสมอเกิดความเสียหาย
- บันทึกข้อมูลที่สำคัญไว้ในแบบฟอร์ม หรือตารางที่เตรียมไว้ ตลอดการขุดเจาะเสาเข็มและเทคอนกรีตจนแล้วเสร็จ

ปักปลอกเหล็กเสาเข็มลงในคอกซึ่งกำหนดตำแหน่งไว้ตามแบบ

ตรวจสอบแนวดิ่งของปลอกเหล็ก
โดยมีความเบี่ยงเบนแนวดิ่งไม่เกิน 1 : 100

ตรวจสอบตำแหน่งของปลอกเหล็ก
โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 ซ.ม.

Bucket ขุดดินออกจากปลอกเหล็กเสาเข็ม

ถังขุด (Bucket) สำหรับเจาะดินชั้นทรายใต้น้ำ

อุปกรณ์ขุดเจาะโดย วิธี Reverse Circulation

ถังพักตะกอนดิน(Slush tank)จากการขุดเจาะ
โดยวิธี Reverse Circulation

ก้านและหัวเจาะที่ใช้ในการขุดเจาะ
โดยวิธี Reverse Circulation

ก้านและหัวเจาะที่ใช้ในการขุดเจาะ
โดยวิธี Reverse Circulation

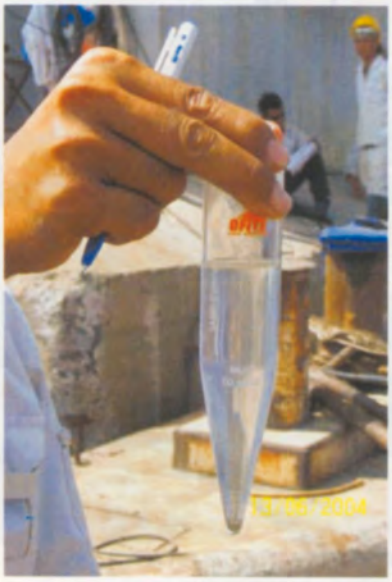
การตรวจสอบสภาพหลุมเจาะ
(Drilling monitor) โดยใช้เครื่องมือ KODEN

ผลการตรวจสอบสภาพหลุมเจาะ

ถังผสมสารละลายเบนโทไนท์

การทดสอบหาค่า Viscosity
ของสารละลายเบนโทไนท์

การทดสอบหาค่า Density
ของสารละลายเบนโทไนท์



การทดสอบหาค่า Sand content
ในสารละลายเบนโทไนท์

การทดสอบหาค่า pH ของสารละลายเบนโทไนท์

การผูกเหล็กเสริมของเสาเข็มเจาะ

การติดตั้งเหล็กเสริมลงในเข็มเจาะ

เหล็กเสริมของเสาเข็มเจาะที่ใส่ท่อเหล็ก
จำนวน 4 ท่อ (สำหรับใช้ทดสอบความสมบูรณ์
ของเสาเข็ม และอัดฉีดน้ำปูน)

การผูกต่อทาบเหล็กเสริม

ต่อท่อ Tremie สำหรับเทคอนกรีต

เปลี่ยนถ่ายสารละลายเบนโทไนท์
ระหว่างรอเทคอนกรีต

ต่อท่อ Tremie และกรวย สำหรับเทคอนกรีต

การทำความสะอาดก้นหลุมเจาะโดยวิธี Air Lift

ใส่โฟมเม็ดลงไปในท่อ Tremie
เพื่อแบ่งชั้นสารละลายกับคอนกรีตที่จะเท

การเทคอนกรีตเสาเข็มเจาะ

การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มเจาะ

เครื่องมือทดสอบ Sonic Logging Test

ตัวส่งและรับ สัญญาณคลื่น Sonic

การทดสอบ Static Pile Load Test

เครื่องผสมน้ำปูน (Grout Mixer)
และถังวัดปริมาตร (Storage Tank)

การเจาะคอนกรีตที่ปลายท่อเหล็ก
สำหรับทำ Sonic Logging จนทะลุถึงชั้นดิน

การอัดน้ำปูน (Grouting)

การทดสอบหาค่าความหนาแน่น (Density) ของน้ำปูน

การทดสอบหาค่าความหนืด (Viscosity)

การติดตั้งเครื่องมืออัดน้ำปูน

เก็บแท่งตัวอย่างขนาด 5x5x5 ซม.
เพื่อทดสอบ Compressive Strength

เก็บแท่งตัวอย่างขนาด 5x5x5 ซม.

ผสมส่วนผสมต่าง ๆ ลงในถังผสม

ปล่อยน้ำปูนลงในถัง Storage Tank
แล้วทำการอัดน้ำปูน
คอยตรวจสอบปริมาตรน้ำปูนที่ถูกใช้ไป

การติดตั้งท่ออัดน้ำปูน

การอัดน้ำเพื่อตรวจสอบ Circuit Flushing

การอัดน้ำปูน

ระหว่างอัดน้ำปูน
แรงดันจะค่อย ๆเพิ่มขึ้น จนถึง 20 Bar
หลังจากนั้น คงระดับแรงดันที่ 20 Bar นาน 5 นาที

งานตอม่อสะพาน

ฐานรากเสาเข็มกลุ่ม (Pile Cap)

หลังจากดำเนินการเกี่ยวกับเสาเข็มฐานรากเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนการควบคุมตรวจสอบงานต่อไปในงานฐานราก คือ โครงสร้างฐานรากหัวเสาเข็ม (Pile Cap) ซึ่งทำหน้าที่รับน้ำหนักทั้งหมดของโครงสร้างส่วนที่อยู่ข้างบนดังนี้

- ดำเนินการตรวจสอบตำแหน่ง แนวศูนย์กลางของฐานราก และศูนย์เสาตอม่อที่วางบนฐานราก
- ตรวจสอบขนาด และจำนวนเสาเข็มของแต่ละฐานรากตรงตามแบบ
- กำหนดระดับหัวเสาเข็มที่จะทำฐานราก
- ตรวจสอบระดับความลึกของหลุมพร้อมทรายหยาบและคอนกรีตหยาบตามแบบ
- ตรวจสอบเหล็กเสริม ชนิด ขนาด จำนวน และระยะห่างรวมถึงระยะหุ้ม (Covering)
- ตรวจสอบแบบหล่อ ตำแหน่งและความมั่นคง
- ตรวจสอบการเทคอนกรีต
- ตรวจสอบการบดอัดดิน เพื่อกลบหลุมให้เป็นไปตามข้อกำหนด

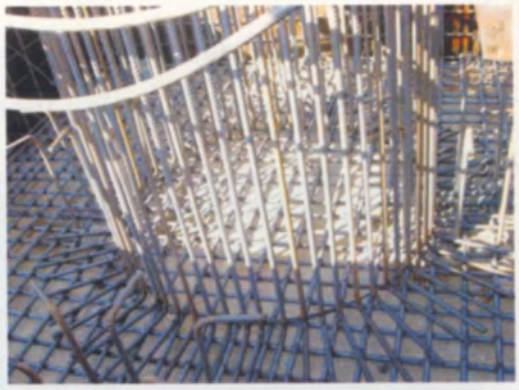
เทคอนกรีตหยาบที่ระดับท้องฐานราก

สกัดหัวเสาเข็ม

เสริมเหล็กฐานราก

ประกอบแบบฐานราก

ค้ำยันแบบฐานราก(รัดรอบส่วนล่าง)



เสริมเหล็กเสา

เทคอนกรีตฐานราก ด้วยราง

บ่มคอนกรีตฐานราก

ถอดแบบฐานราก พร้อมตกแต่ง

เหล็กยึดแบบเสา ฝังในฐานราก

เสา (Column)

ให้ดำเนินการตรวจสอบแนวตอม่อ ระยะช่วง (Span) ของตำแหน่งตอม่อทุกตับรวมถึงตรวจสอบขนาดระยะห่างของเสาแต่ละต้นในตอม่อ ให้ถูกต้องตามแบบก่อนและดำเนิน ขั้นตอนควบคุมตรวจสอบงานต่อไปนี้

- ตรวจสอบตำแหน่งของแบบหล่อให้ได้ดิ่งหรือเอียง ฉาก ตามที่กำหนดไว้ในแบบกำหนดตำแหน่งและระดับที่จะหยุดเทคอนกรีตให้เหมาะสม
- ตรวจผิวของแบบหล่อให้เป็นไปตามความประสงค์ของแบบ
- ตรวจสอบความแข็งแรงของค้ำยัน กรณีที่ใช้ Form Tie ให้ขันนอตแน่นทุกตัวและมีจำนวนเพียงพอ
- ตรวจแบบหล่อไม่ให้มีรอยรั่ว ให้พรมน้ำไม้แบบก่อนเทเพื่อป้องกันไม้แบบดูดน้ำจากส่วนผสมคอนกรีต
- ตรวจสภาพของแบบหล่อว่าเหมาะสมในการใช้งาน
- ตรวจชนิด ขนาด จำนวน และระยะห่างเหล็กเสริมให้ถูกต้อง
- ตรวจระยะ Covering ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ
- ตรวจตำแหน่งการต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนดและหลักวิชาการ
- ตรวจอุปกรณ์ที่ต้องฝังและช่องเจาะต่าง ๆ ให้มีครบถ้วนตามแบบ เช่น บัวลบ เหลี่ยม เหล็กเสียบ Dowel ท่อร้อยสายไฟ เป็นต้น
- จัดเตรียมเครื่องมือ เช่น เครื่องมือ เครื่องผสมคอนกรีต เครื่องเขย่าคอนกรีต ให้พอเพียงและต้องมีสำรอง
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต ก่อนเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานทุกครั้ง
- ควบคุมระยะปล่อยคอนกรีตไม่สูงกว่า 2.00 เมตร การเทต้องถูกต้องตามวิธีมาตรฐานเพื่อป้องกันการแยกตัว เช่น ใช้ท่อหรือรางช่วยในการเท
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด
- ขณะเทคอนกรีตให้เก็บตัวอย่างเพื่อการตรวจสอบกำลังอัด โดยเขียนรายละเอียดลงในเนื้อคอนกรีต
- ขณะที่เทคอนกรีตต้องคอนตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม
- ควบคุมปริมาณที่เท เมื่อขณะใกล้เสร็จงานให้พอดีตามระดับที่ต้องการ
- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที
- เมื่อถอดแบบหากพบว่ามีความบกพร่องของเนื้อคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อนายช่างควบคุมงานโดยทันที

การเสริมเหล็กปลอก ใส่ลูกปูน

เตรียมแบบ ประกอบเสา

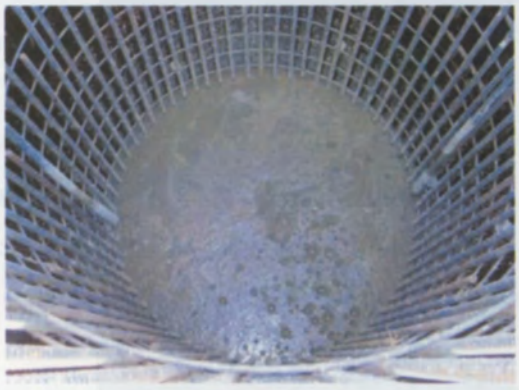
ประกอบแบบเสา

ตรวจสอบการยึด และรอยรั่ว

ประกอบค้ำยันด้านข้าง

กำหนดระดับการเท ที่ท้องคานหัวเสา

เทคอนกรีตด้วยรถยก ใช้ท่อยาง



จี้คอนกรีตทุกระยะ 30 ซม.

ตกแต่งผิวบนให้หยาบ และได้ระดับ

บ่มคอนกรีต(พันพลาสติกและรดน้ำด้านบน)

ปูท้องแบบในการก่อสร้างคานหัวเสา

คานหัวเสา (Cap Beam or Crosshead)

ให้ดำเนินการตรวจสอบขนาดและระดับของคานหัวเสาหรือคานรับพื้น (Cap Beam) ให้ถูกต้องตามแบบก่อนแล้วจึงดำเนินขั้นตอนควบคุมตรวจสอบงานต่อไป

ติดตั้งนั่งร้านรองรับท้องแบบ

ปูท้องแบบในการก่อสร้างคานหัวเสา

เสริมเหล็กคานหัวเสา

ประกอบแบบพร้อมเทคอนกรีตคานหัวเสา

เหล็กวัดการทรุดตัว ระหว่างเทคอนกรีต

ถอดแบบ ตกแต่งผิว และบ่มคอนกรีต

คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น (Cantilever Deck)

บทนำ

ในการก่อสร้างสะพาน คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น เป็นโครงสร้างส่วนบนของเสาที่ทำหน้าที่รองรับคานและพื้นสะพาน เพื่อกระจายน้ำหนักลงสู่เสา โดยออกแบบเพื่อลดความยาวของคานคอนกรีตอัดแรง หรือเพิ่มช่วงความยาวของสะพาน มีรูปแบบดังนี้

1. คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น แบบตัน (Solid Type) เป็นโครงสร้างคอนกรีตชิ้นเดียว ยื่นออกโดยรอบหัวเสา ทำหน้าที่รองรับคานและส่วนบนเป็นพื้นสะพาน

รูปที่ 1 คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น แบบตัน (Solid Type)

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

รูปที่ 2 คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น แบบกลวง (Hollow Type)

ข้อมูลเบื้องต้น

- ก่อนเริ่มดำเนินการให้ผู้รับจ้างเสนอแบบสำหรับก่อสร้าง (Shop Drawings) โดยมีรายละเอียด ได้แก่ ความสูงช่องลอด ระดับหัวเสา ระดับบ่ารองรับคาน ระดับหลังพื้นสะพาน (Finished Grade) ค่าพิกัด (Coordinate) รายละเอียดการเสริมเหล็ก ลำดับขั้นตอนการทำงาน
- กรณี โครงสร้างคานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น แบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ให้ผู้รับจ้างนำเสนอรายละเอียด พร้อมขั้นตอนการทำงาน ให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนด
- รายการคำนวณการรับน้ำหนักของนั่งร้าน
- รายละเอียดวัสดุที่นำมาใช้งาน พร้อมผลการทดสอบคุณภาพ
- รายละเอียดงานอื่นๆที่เกี่ยวข้องตามลำดับขั้นตอนการทำงาน เช่น การวางท่อร้อยสายไฟของเสาไฟฟ้าแสงสว่าง การติดตั้งท่อระบายน้ำ เป็นต้น

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องมือ หรือเครื่องจักรที่ใช้ในการปรับพื้นที่ทำงาน เช่น รถขุด (Backhoe) รถดันดิน(Tractor) รถบดอัดดินหรือเครื่องบดอัดดิน
- วัสดุ และอุปกรณ์ในการก่อสร้างนั่งร้าน
- เครื่องมือ หรือเครื่องจักรที่ใช้ในการเทคอนกรีต เช่น กะบะเทคอนกรีต เครื่องทำให้คอนกรีตแน่นตัว รถบรรทุกน้ำ รถยก (Crane)

การก่อสร้างคานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น แบบตัน (Solid Type)

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กะบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ (Abrasion) และความสะอาดของหิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
- จัดเตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องจักร ที่ใช้ในการประกอบนั่งร้าน
- ปรับปรุงฐานรากรองรับนั่งร้านให้สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่คำนวณไว้
- ประกอบนั่งร้านตามแบบที่กำหนดไว้ โดยตรวจสอบจุดต่อให้แข็งแรง
- ประกอบแบบท้องพื้น ให้ได้ระดับตามกำหนด

- กำหนดตำแหน่งและระดับ เพื่อประกอบแบบพื้นล่าง โดยเผื่อการทรุดตัวของนั่งร้าน
- เสริมเหล็กตามแบบ ประกอบแบบด้านข้าง พร้อมยึด และค้ำยันให้แข็งแรง เว้นช่องว่างบริเวณบ่ารับคานทั้งสองด้านไว้ เพื่อติดตั้ง Joint ในภายหลัง ตามที่แบบกำหนด
- ตรวจแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง
- ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนด
- กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ตรวจแนวและระดับของท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง การติดตั้งสมอยึด (Anchorage) ให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนด
- ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน
- ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง (Bar Chair) รองรับให้แข็งแรง ไม่ทรุด
- ติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ เพื่อตรวจสอบการทรุดตัวของนั่งร้าน ในระหว่างการเทคอนกรีต

รูปที่ 3 การตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering)

รูปที่ 4 เครื่องมือ อุปกรณ์ เพื่อตรวจสอบการทรุดตัวของนั่งร้าน

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

งานเทคอนกรีต

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

- ก่อนเทคอนกรีตใหม่ เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตใหม่
- ขณะที่เทคอนกรีต ต้องตรวจสอบอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ มิให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม
- กรณี นั่งร้านมีการทรุดตัวมากผิดปกติ ให้ดำเนินการแก้ไขโดยทันที
- แต่งผิวคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 2 ข้อ 5.1.11

รูปที่ 5 การเทคอนกรีต

งานหลังเทคอนกรีต

- ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
  - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
  - แบบประกอบรองรับท้องคาน พื้น 14 วัน
  - ในกรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน
- ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที
- กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ควบคุมการดึงลวดเหล็กอัดแรงให้ได้แรงตามข้อกำหนด และเป็นไปตามลำดับ และทำการยึดจากนั้นตรวจสอบการอัดน้ำปูนข้นที่ผสมสารเพิ่มการขยายตัว เข้าไปในท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง และติดตั้งที่ระบายอากาศในจุดที่เหมาะสม เพื่อให้น้ำปูนไหลได้ทั่วถึง เก็บตัวอย่างน้ำปูน

เพื่อตรวจสอบการขยายตัว และเก็บแท่งตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลังรับแรง ห้ามวางคานก่อนน้ำปูนแข็งตัว

- การวางคานให้ผู้รับจ้างเสนอขั้นตอนและวิธีการต่อผู้ควบคุมงานก่อน ในกรณีวางคานเพียงด้านเดียว ต้องวางน้ำหนักด้านที่จะวางคานภายหลัง เพื่อป้องกันความเสียหายต่อโครงสร้าง

รูปที่ 6 การถอดแบบหลังเทคอนกรีต

การก่อสร้างคานหัวเสาพื้นยื่น แบบกลวง (Hollow Type)

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม กระบะตวง ถ้าใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้หรือกรณีเทคอนกรีตด้วยเครื่อง Concrete Pump ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mixed Design และทำการทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานการสึกหรอ (Abrasion) และความสะอาดของหิน หรือ กรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
- จัดเตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องจักร ที่ใช้ในการประกอบนั่งร้าน
- ปรับปรุงฐานรากรองรับนั่งร้านให้สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่คำนวณไว้
- ประกอบนั่งร้านตามแบบที่กำหนดไว้ โดยตรวจสอบจุดต่อให้แข็งแรง
- ประกอบแบบท้องพื้น ให้ได้ระดับตามกำหนด
- กำหนดตำแหน่งและระดับ เพื่อประกอบแบบพื้นล่าง โดยเผื่อการทรุดตัวของนั่งร้าน

รูปที่ 7 การประกอบนั่งร้านรองรับแบบบริเวณเสา

รูปที่ 8 การประกอบแบบพื้นล่าง

- เสริมเหล็กตามแบบ ประกอบแบบด้านข้าง พร้อมยึด และค้ำยันให้แข็งแรง เว้นช่องว่างบริเวณบ่ารับคานทั้งสองด้านไว้ เพื่อติดตั้ง Joint ในภายหลัง ตามที่แบบกำหนด
- ติดตั้งท่อระบายน้ำพื้นล่าง(Bottom slab) ตามที่แบบกำหนด
- ตรวจแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน

รูปที่ 9 การเสริมเหล็กตามแบบ ประกอบแบบด้านข้าง

- ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่างของเหล็กเสริม ให้ถูกต้อง
- ตรวจสอบ ตำแหน่งและระยะทาบ การต่อเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนด
- กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ตรวจแนวและระดับของท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง การติดตั้งสมอยึด (Anchorage) ให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนด
- ตรวจสอบเหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาด ไม่มีสนิมขุม ถ้ามีคราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆติดอยู่ ให้ทำความสะอาดก่อน
- ตรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้ตรงตามรายการประกอบแบบ เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง (Bar Chair) รองรับให้แข็งแรง ไม่ทรุด
- ติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ เพื่อตรวจสอบการทรุดตัวของนั่งร้าน ในระหว่างการเทคอนกรีต
- ตรวจ ตำแหน่ง ขนาด อุปกรณ์ เหล็ก Dowel ท่อระบายน้ำ และท่อร้อยสายไฟฟ้าแสงสว่าง ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆให้ครบถ้วนตามแบบ
- จัดเตรียม จำนวนคนงาน ช่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เหมาะสม
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต
- ในการเสริมเหล็กพื้นล่าง (Bottom Slab) ต้องติดตั้งเหล็กเสริมสำหรับ คานหัวเสา (Crosshead) คานหลัก (Web) คานซอย (Diaphragm) และเหล็กสำหรับยึดแบบโครงสร้างส่วนดังกล่าว
- ในการก่อสร้างพื้นบน(Top Slab) ประกอบนั่งร้านรองรับแบบพื้นตามแบบที่กำหนดไว้ โดยตรวจสอบให้แข็งแรง

รูปที่ 10 การเสริมเหล็กคานหัวเสา (Crosshead)

งานเทคอนกรีต

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

- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที การบ่มคอนกรีตให้เป็นไปตามรายละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 2 ข้อ 5.1.11

รูปที่ 11 การเทคอนกรีตพื้นบน(Top Slab)

งานหลังเทคอนกรีต

- ควบคุมการถอดแบบ เมื่อคอนกรีตครบอายุตามข้อกำหนดต่อไปนี้
  - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
  - แบบประกอบรองรับท้องคาน พื้น 14 วัน
  - ในกรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้น ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ 28 วัน
- ตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อผู้ควบคุมงานโดยทันที
- ตรวจสอบท่อระบายน้ำพื้นล่าง(Bottom slab) หากอุดตันต้องทำการแก้ไขทันที
- กรณี คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่นแบบคอนกรีตอัดแรง (Post Tensioned Cantilever Deck) ควบคุมการดึงลวดเหล็กอัดแรงให้ได้แรงตามข้อกำหนด และเป็นไปตามลำดับ และทำการยึด จากนั้นตรวจสอบการอัดน้ำปูนข้นที่ผสมสารเพิ่มการขยายตัว เข้าไปในท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง และติดตั้งที่ระบายอากาศในจุดที่เหมาะสม เพื่อให้น้ำปูนไหลได้ทั่วถึง เก็บตัวอย่างน้ำปูนเพื่อตรวจสอบการขยายตัว และเก็บแท่งตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลังรับแรง ห้ามวางคานก่อนน้ำปูนแข็งตัว
- การวางคานให้ผู้รับจ้างเสนอขั้นตอนและวิธีการต่อผู้ควบคุมงานก่อน ในกรณีวางคานเพียงด้านเดียว ต้องวางน้ำหนักด้านที่จะวางคานภายหลัง เพื่อป้องกันความเสียหายต่อโครงสร้าง

แผ่นยางรองคาน (Bearing Pad)

บทนำ

แผ่นยางรองคาน (Bearing Pad) คือ วัสดุที่ใช้รองรับน้ำหนักของโครงสร้างส่วนบนของสะพาน รวมน้ำหนักจรจากการใช้งาน สามารถช่วยลดความเสียหายที่เกิดจากแรงกระทำต่างๆ ต่อโครงสร้างสะพานได้ ในอดีตมีการนำวัสดุหลายประเภทมาใช้เป็น Bearing เช่น Asphalt Paper โลหะ และยางธรรมชาติ ซึ่งวัสดุบางประเภทใช้ได้ดี บางประเภทใช้ได้ไม่ดีเท่าที่ควร ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวัสดุที่ทำจากยางธรรมชาติ (Natural Rubber Isoprene) และยางสังเคราะห์ (Neoprene) รวมเรียกว่า Elastomeric Bearing ซึ่งจำแนกชนิดได้ดังนี้

- **Plain Rubber Bearings** คือ Bearings ที่ไม่เสริมแผ่นเหล็ก นำมาใช้รองหัวคานพื้นสะพาน ช่วงไม่เกิน 20 เมตร

- **Monoplate Bearings** คือ Bearings ที่เสริมแผ่นเหล็กชั้นเดียวที่กลางความหนาแผ่นผลิตขึ้นเพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับ Plain Rubber Bearing ในการรับน้ำหนักที่กระทำและสามารถรับแรง Shear Movements ได้มากขึ้น

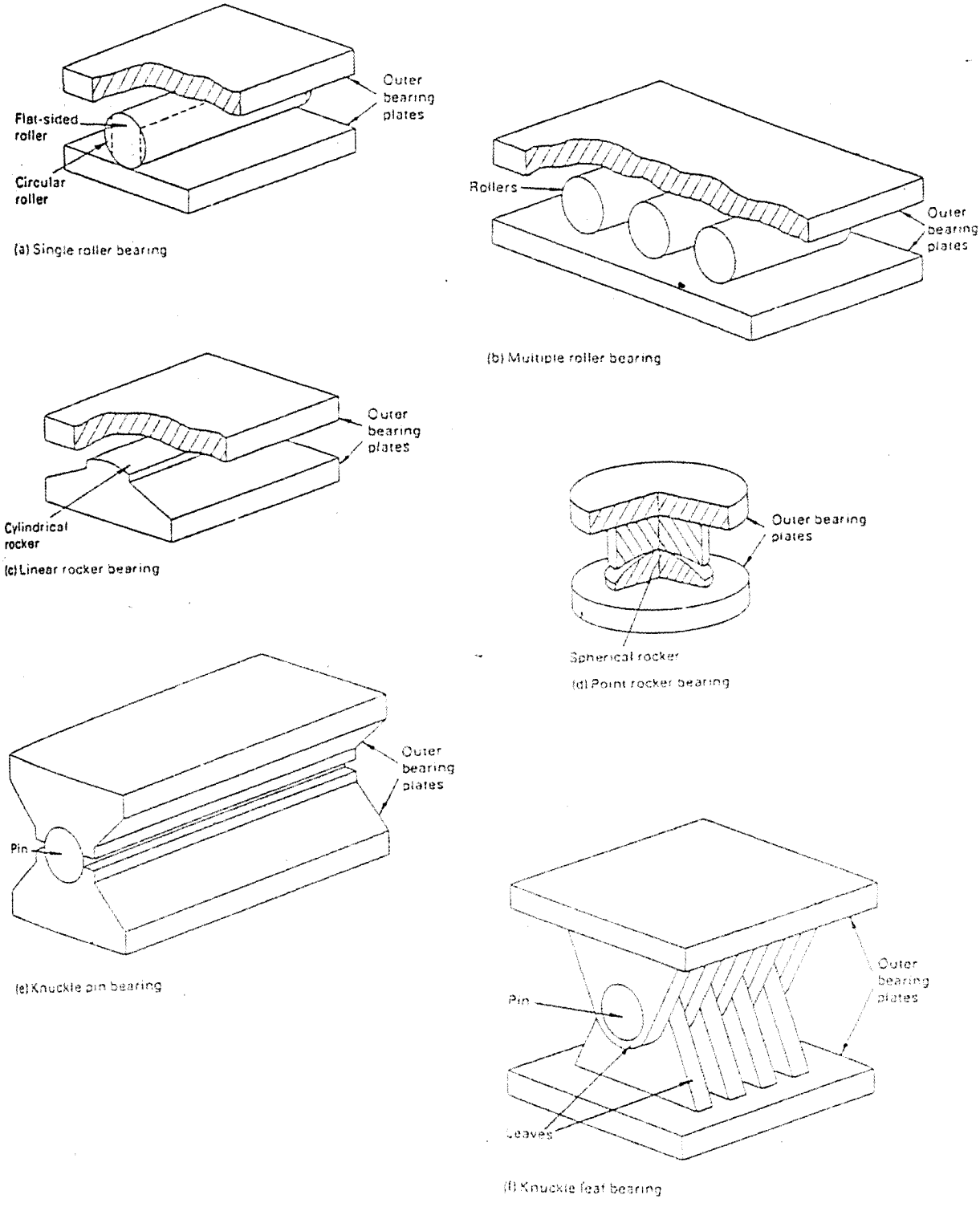
- **Laminated Bearings** คือ Bearings ที่เสริมแผ่นเหล็กสลับกับแผ่นยางหลายชั้นตามการคำนวณของผู้ออกแบบ ซึ่ง Bearing ชนิดนี้สามารถรับน้ำหนักที่กระทำและรับแรง Shear Movements และ Rotation ได้สูงกว่า Monoplate Bearings ใช้กับงานโครงสร้างขนาดใหญ่

คุณสมบัติพิเศษของ Elastomeric Bearing

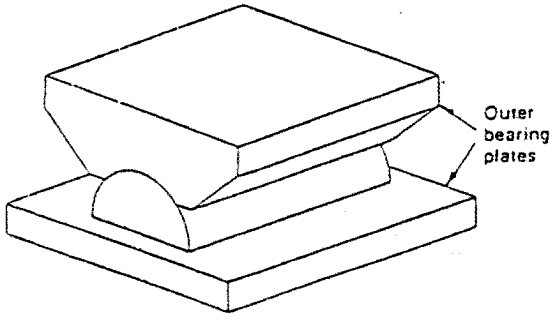
Elastomeric Bearing Pads ทำมาจากการผสมยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์กับสินแร่หลายชนิด ได้มีการนำมาใช้กับโครงสร้างเหล็กและคอนกรีต ตั้งแต่ปี ค.ศ.1950 ถ้าหากใช้วัสดุที่มีคุณภาพที่ดีและส่วนผสมที่ถูกต้องแล้ว จะมีคุณสมบัติที่ให้ประโยชน์ ดังนี้

1. Elastomeric Bearing Pads ชนิดไม่เสริมแผ่นเหล็ก (Plain Bearings)
   สามารถรับ Compressive Stress ในช่วง 500 – 1,000 PSI (35 -70 ksc) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างและส่วนผสมของ Bearing

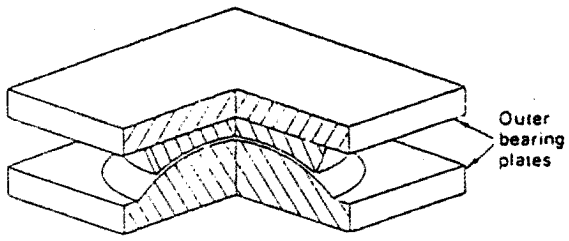
2. Elastomeric Bearing Pads ชนิดเสริมแผ่นเหล็ก ใช้งานในที่ป้องกันไม่ให้เกิด Exeessive Bulging โดยมีแผ่นเหล็กเสริมและในขอบเขตของ External Restraining Devices แล้ว Elastomeric Material สามารถรับ Compressive Stress ได้สูงถึง 3,000 psi (210 ksc)



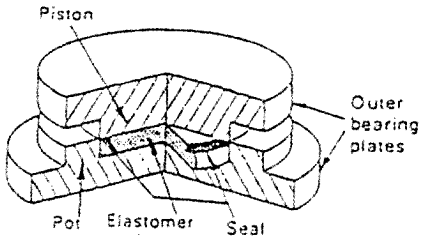
ภาพที่ 1 แสดงชนิดของ Bearing แบบต่าง ๆ



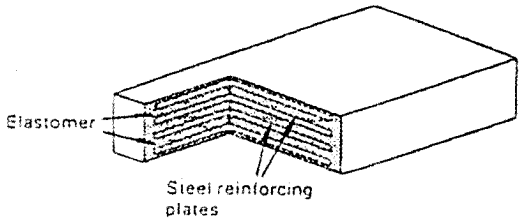
(g) Cylindrical knuckle bearing



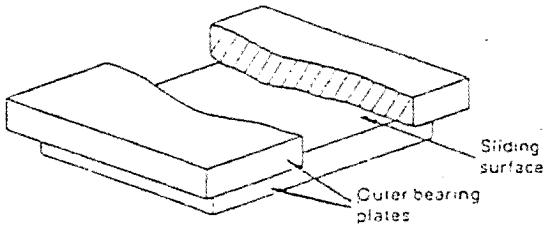
(h) Spherical knuckle bearing



(k) Pot bearing



(j) Elastomeric laminated bearing

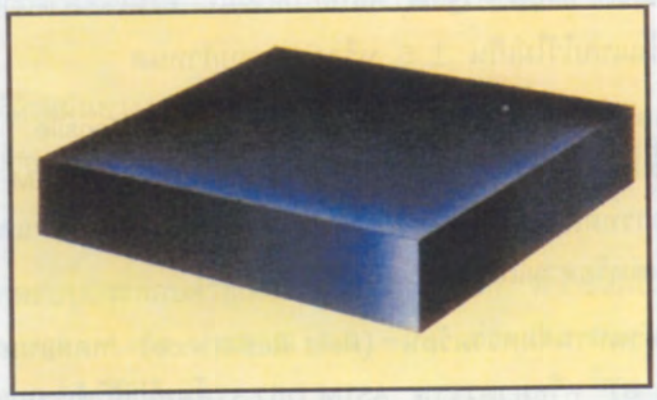


(i) Plane sliding bearing

ภาพที่ 1 แสดงชนิดของ Bearing แบบต่าง ๆ

PLAIN ELASTOMERIC BEARINGS

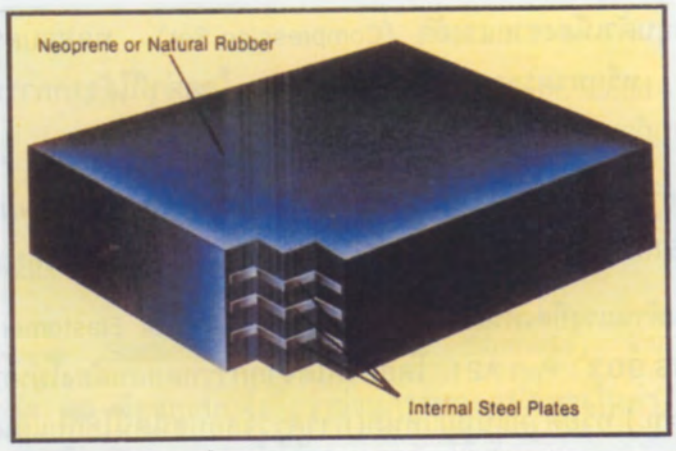
However , we can manufacture to any other sizes than above to suit your requirements. We also provide design service by computer to suit your loading data. Plain Rubber Strips can be manufactured to any continuous lengths up to approximately 20 metres. Materials are available either in Natural Rubber (Isoprene) or Neoprene (Chloroprene)



รูปที่ 2 Plain Rubber Bearings

Plain Rubber Bearings:

Used as fixed end bearings to accommodateloads and rotation, or free end bearings with very small shear movements.



รูปที่ 3 Laminated Bearings:

Laminated Bearings:

The most useful type of bearing which supports the large structure.They are used when shear movement is too large and the loads are too high for amonoplate bearing pad.

การทดสอบคุณภาพแผ่นยางรองคาน ต้องมีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ตามตารางที่ 1 ดังนี้

- แผ่นยาง ที่ใช้ต้องเป็นจำพวก Neoprene บริสุทธิ์ (Polychloroprene) หรือยางธรรมชาติ (Polyisoprene) เท่านั้น และต้องผลิตตามมาตรฐาน BS 5400 : Section 9.2 หรือ AASHTO Standard Specification for Highway Bridge หรือตามแบบกำหนด

- ค่าความแข็ง (Hardness) ทดสอบตามมาตรฐาน BS 903 : Part A26 (Method N) หรือมาตรฐาน ISO 48 Rubber หรือมาตรฐาน ASTM D2240 ทั้งนี้โดยค่าความแข็งที่ได้จากการทดสอบต้องต่างจากค่าที่กำหนดในแบบไว้ไม่เกิน $\pm$ 5 หรือตามแบบกำหนด

- ค่าความต้านทานแรงดึง และการยืดตัวประลัย (Tensile Strength and Ultimate Elongation) ทดสอบตามมาตรฐาน BS 903 : Part A2 หรือมาตรฐาน ASTM D412 ทั้งนี้โดยค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้จากการทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 15.5 เมกาปาสกาล และการยืดตัวประลัยต้องไม่น้อยกว่า 400 เปอร์เซ็นต์หรือตามแบบกำหนด

- ค่าความต้านทานต่อความร้อน (Heat Resistance) ทดสอบตามมาตรฐาน BS 903 : Part A19 (Method A or B) หรือมาตรฐาน ASTM D573 โดยค่าที่ได้จากการทดสอบต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังนี้

  - ค่าการเปลี่ยนแปลงความแข็งต้องไม่เกิน 10 IRHD
  - ค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานแรงดึงต้องไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์
  - ค่าการเปลี่ยนแปลงของการยืดตัวประลัยต้องไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์
  - หรือตามแบบกำหนด

- ค่าความยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression Set) ทดสอบตามมาตรฐาน BS 903 : Part A6 (Method A) หรือมาตรฐาน ASTM D395 โดยค่าที่ได้จากการทดสอบต้องไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ หรือตามแบบกำหนด

- ค่าความต้านทานต่อโอโซน (Ozone Resistance) ทดสอบตามมาตรฐาน BS 903 : Part A43 หรือมาตรฐาน ASTM D1149 โดยภายหลังการทดสอบแล้วชิ้นงานตัวอย่างต้องไม่มีรอยแตกร้าว

- ค่าความต้านแรงยึดเหนี่ยวในช่วงยางแข็งตัว(Bond of Elastomer During Vulcanization) ทดสอบตามมาตรฐาน BS 903 : Part A21 โดยค่าที่ได้จากการทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 7 นิวตันต่อความกว้าง 1 มิลลิเมตร (N/mm.) หรือตามแบบกำหนด(การตรวจสอบชนิดนี้ใช้กับแผ่นยางที่เสริมแผ่นเหล็ก)

ขั้นตอนการควบคุมและทดสอบคุณภาพ Bearing pad มีดังนี้

- การทดสอบแผ่น Elastomeric Bearing Pad ชนิดเสริมแผ่นเหล็ก (Laminated Bearings Pad)

การทดสอบโดยวิธี Quick Production Test มีวัตถุประสงค์ ดังนี้คือ

- ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนตำแหน่งแผ่นเหล็กเสริม (Check for Misplaced Reinforcing Plate)
- ตรวจสอบการยึดเกาะระหว่างแผ่นเหล็กกับยาง (Bond Failure at Steel / Elastomer Interface)
- ความเสียหายที่ผิวแผ่นยาง (Surface Defects)
- คำนวณค่า Stiffness ของแผ่น Elastomeric Bearing (ค่า Stiffness ของแผ่น Elastomeric Bearing)

เครื่องมือที่ทำการทดสอบประกอบด้วยเครื่อง Compression มีประสิทธิภาพที่สามารถกดด้วยแรงมากกว่า Maximum Design Load ประมาณ 1.5 – 2 เท่า และ Dial Guage ที่สามารถอ่านค่า Deflection ได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

ก่อนทำการทดสอบกดแผ่น Elastomeric Bearing ให้เพิ่ม Load ที่ละน้อยจนถึง Maximum Design Load ตามที่ออกแบบไว้จากนั้นลด Load ลงทีละน้อย วิธีการนี้เพื่อให้แผ่น Bearing ปรับตัวก่อน แล้วจึงเริ่มการทดสอบ โดยเพิ่ม Load ขึ้นทีละน้อยจนถึง $\frac{1}{3}$ ของ Maximum Design Load ให้จดค่า Deflection ($\Delta 1$) ของ Bearing ไว้ แล้วเพิ่ม Load จนถึง Maximum Design Load ให้จดค่า Deflection ($\Delta 2$) นำค่าที่ได้มาคำนวณค่า Compressive Stiffness (KC) ตามสูตร

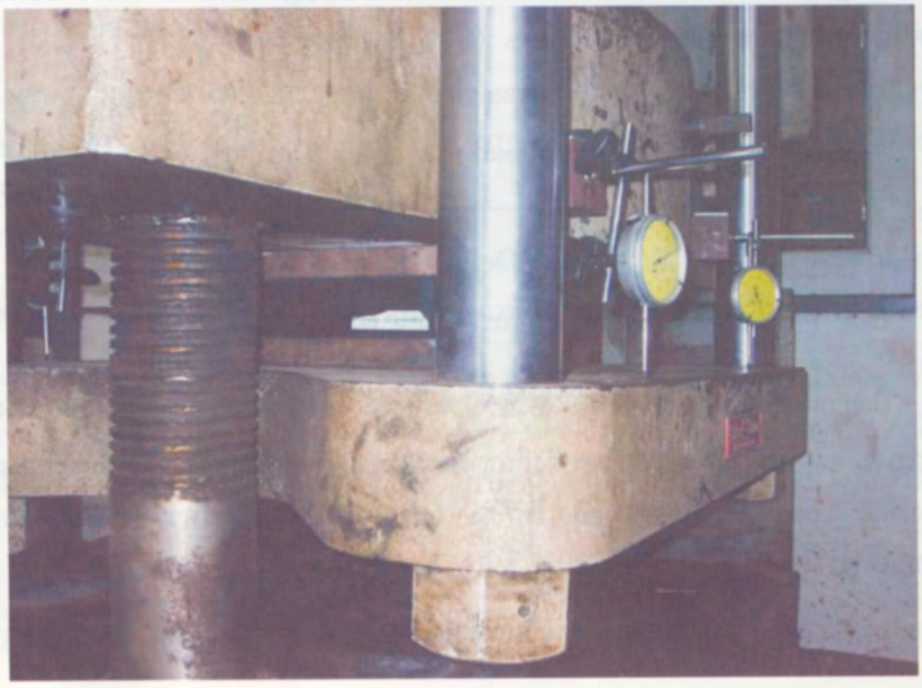
$$\text{Stiffness (KC)} = \frac{\text{Max Design Load} - \frac{1}{3}\text{ Max Design Load}}{\text{Total Deflection } (\Delta 2 - \Delta 1)}$$

(ตารางแสดง Quick Production Test ดังรายละเอียดแนบท้าย)

ค่า KC (Compressive Stiffness หรือ Vertical Stiffness) จากการทดลองต้องอยู่ในช่วง (Range) $\pm$ 20% ของค่า KC ที่ออกแบบจึงถือว่าผ่านการทดลองเฉพาะในค่า Compressive Stiffness และในระหว่างเพิ่ม Load ถึง Full Load ให้ค้าง Load ไว้เพื่อทำการตรวจสอบด้วยสายตาว่ามีความผิดปกติอื่นๆ หรือไม่ ดังนี้

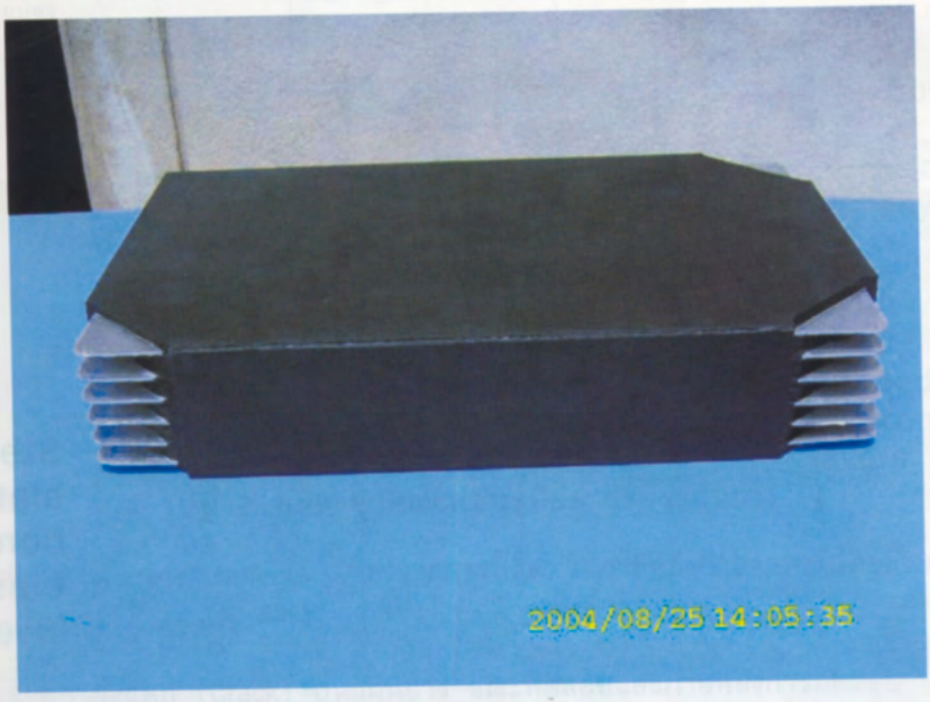
- ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนตำแหน่งและจำนวนแผ่นเหล็กภายในแผ่น Bearing ดูรูปที่ 4 และรูปที่ 5

การตรวจสอบสภาพโดยรอบขณะทดสอบ

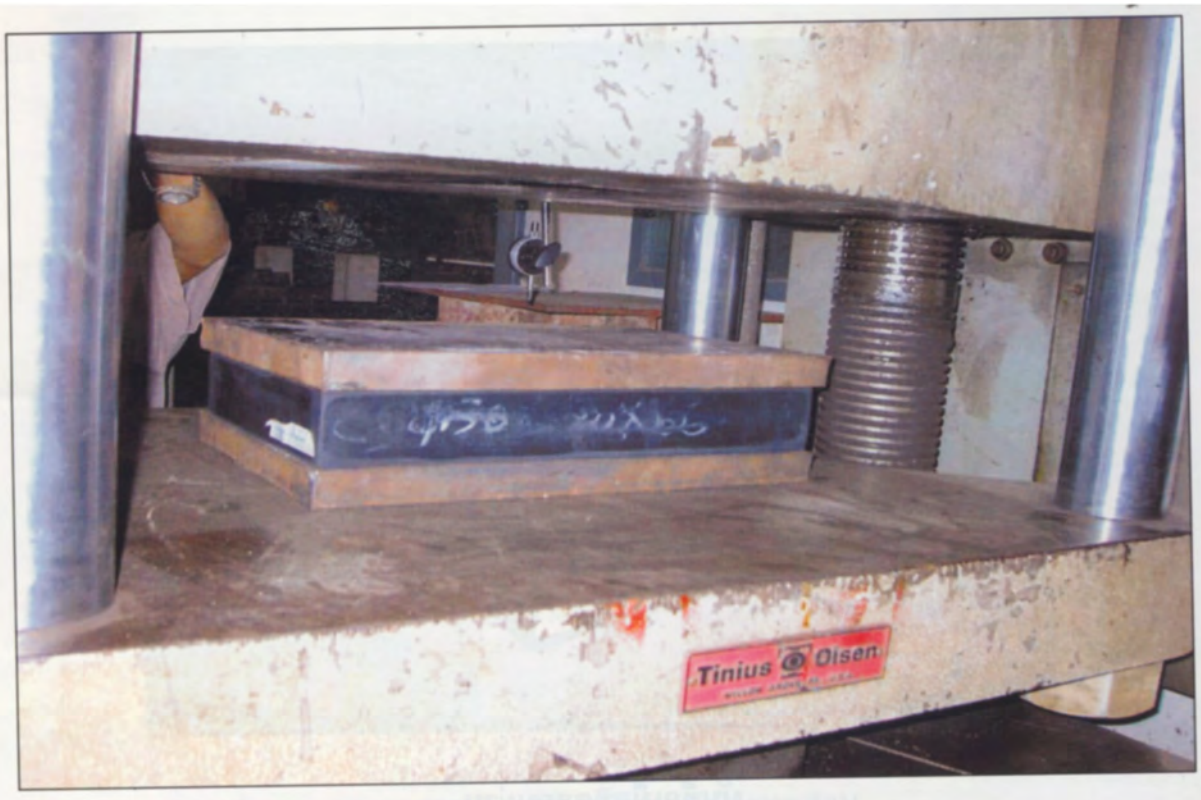


การอ่านค่าการยุบตัวจาก Dial Gauge

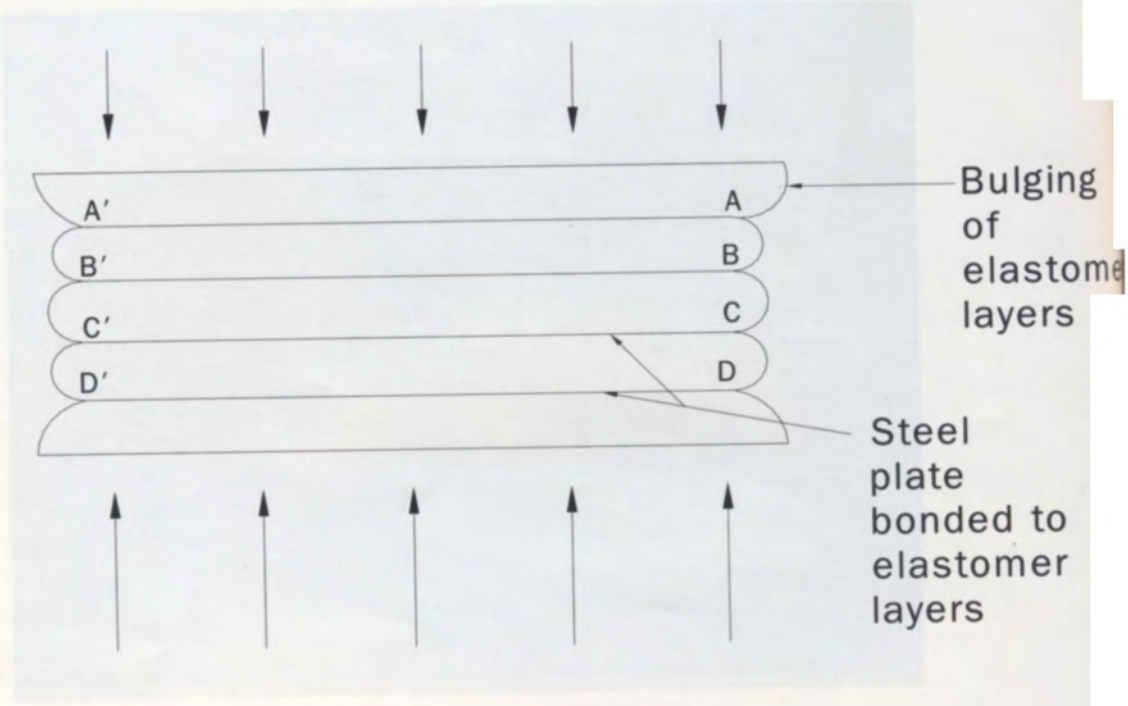
บันทึกเมื่อทดสอบผ่าน



รูปตัดแสดงแผ่นเหล็กในแผ่นยางรองคาน

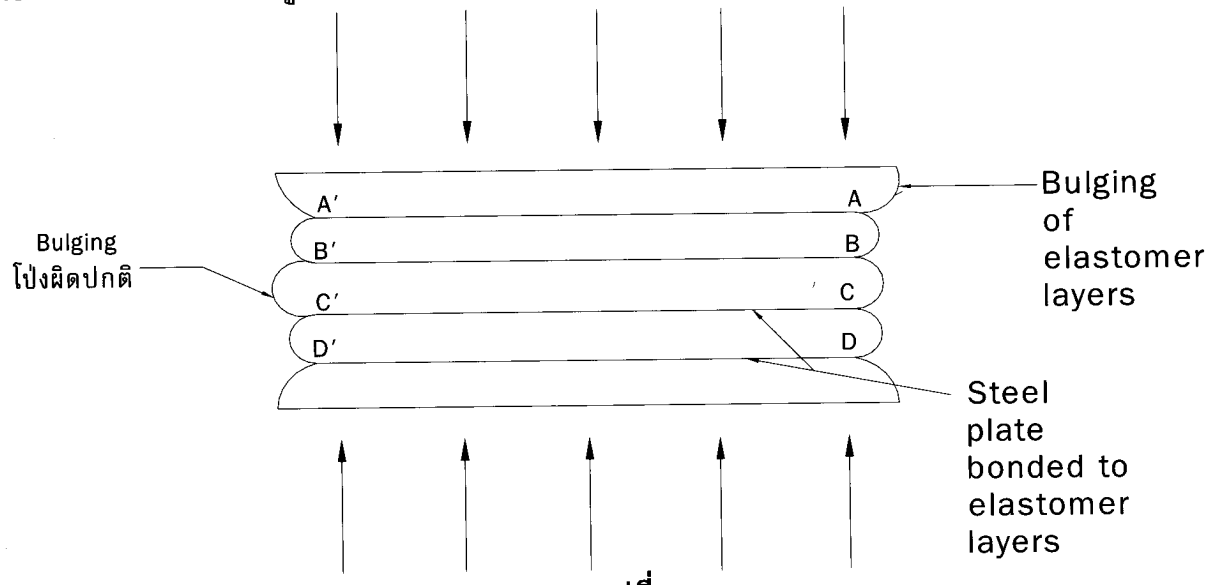


รูปที่ 4 แผ่นยางที่ประกบด้วยแผ่นเหล็กบน-ล่าง รอการกดทดสอบ



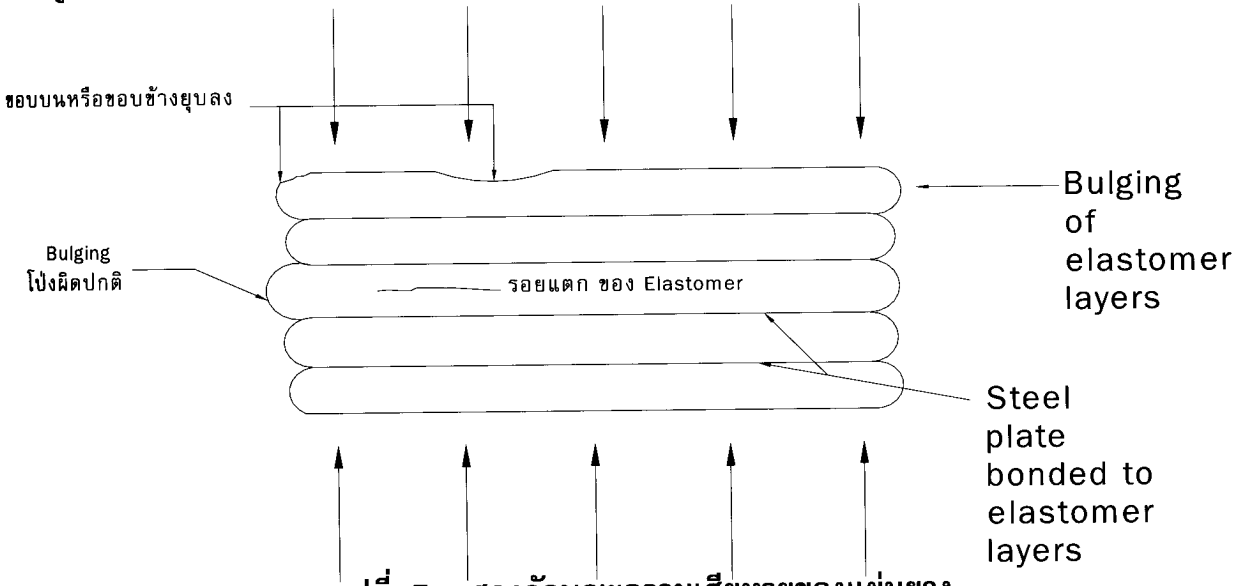
รูปที่ 5 การตรวจสอบแผ่นยาง Elastomer Bearing ขณะรับน้ำหนัก Full Load

- กรณีแผ่นเหล็กวางไม่ตรงตำแหน่ง เมื่อเวลากด Load จะสังเกตเห็นลักษณะการพอง (Bulging) โป่งออกมาไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6

- กรณีไม่เกิด Bond Failure at the Steel / Elastomer ลักษณะการพอง (Bulging) ทุกอันจะโป่งออกมาเท่าๆ กัน หากมี Bond Failure ที่ใด Bulging ที่อยู่ติดกับแผ่นเหล็กนั้นจะโป่งออกมากกว่าที่อื่น ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงลักษณะความเสียหายของแผ่นยาง

- กรณีเกิด Surface Defects เนื่องจากการผลิตหรือภายหลังการทดสอบโดยสังเกตจากผิวหน้าของแผ่นยางยุบลงหรือโป่งออก

- ตรวจสอบรอยแตก (Crack) บนแผ่นยาง ขณะทดสอบและภายหลังการทดสอบ

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 โดยการเพิ่มแรงกด อย่างช้า ๆ 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 Deflection ขณะเพิ่มและลด Load
load (kN)	Deflection (mm)	load (kN)	Deflection (mm)	
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%

ตารางทดสอบ Cycle ที่ 2

ขณะเพิ่ม Load		เปรียบเทียบ ค่า Deflection Cycle 1 และ 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%

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 เดียวกัน แสดงว่าตัวอย่างนี้ผ่านการทดสอบโดยสมบูรณ์สามารถนำไปใช้ได้

ข้อควรระวังในการติดตั้งแผ่นยางรองคาน

1. การติดตั้งวางแผ่นยางรองคาน ต้องวางแผ่นยาง Bearing Pad ให้อยู่ในระนาบแนวราบ (Horizontal Plane) เสมอเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักของคานคอนกรีตที่กระทำได้เต็มพื้นที่ของแผ่นยางและน้ำหนักลงสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น
2. ในกรณีวางคานคอนกรีตบนแผ่นยางในช่วงทางขึ้นหรือทางลงตาม Vertical Grade ของสะพาน ต้องปรับระดับหัวคานในขณะหล่อคานคอนกรีต เพื่อให้หัวคานที่วางบนแผ่นยางรองคานอยู่ในแนวราบ (Horizontal Plane) เช่นกันซึ่งจะไม่ทำให้เกิดแรงกดทับแผ่นยางรองคานด้านใดด้านหนึ่ง ในลักษณะเกิด Point Load ทำให้แผ่นยางรองคานเกิดความเสียหายได้
3. การปั้น Concrete Plinth โดยการใช้ Non-Shrink Mortar เพื่อปรับระดับให้อยู่ในแนวราบ (Horizontal Plane) รองรับแผ่นยางรองคาน ต้องผสมส่วนผสมของ Non-Shrink Mortar ให้ได้ตามสัดส่วนที่ถูกต้องเนื่องจากรับน้ำหนักกระทำจากคานคอนกรีตมาก มิฉะนั้น Non - Shrink Mortar จะรับน้ำหนักไม่ได้เกิดการแตกร้าวทำให้แผ่นยางรองคานเกิดการขยับตัวและอาจเกิดความเสียหายต่อแผ่นยางได้
4. การทาน้ำยา Epoxy Resin ระหว่างแผ่นยางรองคานกับ Non - Shrink Mortar ที่แข็งตัวแล้ว ควรทาให้ทั่วแผ่น และควรตรวจสอบว่ามีการยึดเกาะกันดีโดยไม่มีการขยับของแผ่นยางรองคาน ก่อนทำการติดตั้งคานทุกครั้ง

Physical Properties

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

ตารางที่ 1 แสดงข้อกำหนดทางฟิสิกส์ของแผ่น Elastomeric Bearings

(ตาราง แสดงผลการทดสอบโดยวิธี Quick Production Test)

QUICK PRODUCTION TEST

KHLONG KUM INTERCHANGE

Manufacturer ADVANCE POLYMER J.T. CO.,LTD.

Contractor ROJSIN COSTRUCTION CO.,LTD.

Bearing Type BEARING B.C.D.Y.Z FIXED SIZE 400X250X29 MM.

Part no. 040-210

Max Vertical Load 769 kn

Tested By.....

Approve.....

Date.....25 MAR...1996.....

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

Remark : Design Compressive stiffness = 919 kn/mm. ± 20% = 735.2 - 1102.8 kn/mm.

สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง
กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่ พ.1003/43

ชื่อโครงงาน โครงการฯสายแยกทางหลวงหมายเลข 32-บรรจบทางหลวงหมายเลข 347 (ตอน 1)
ใบสั่งงานที่ กส.4/9/2542 ลว. 30 กย.2542 (มหาชน)
เจ้าของตัวอย่าง บริษัท ชิโน-ไทยเอ็นจิเนียริ่งแอนด์คอนสตรัคชั่น จำกัด ผลิตโดย บริษัท เยนเนอรัลเอนยิเนียริ่ง จำกัด(มหาชน)
หนังสือที่ คค 0615/7(42)/246 ลว. 2 พย.2543 วันที่รับหนังสือ 2 พย.2543
เจ้าหน้าที่ส่งตัวอย่าง นายชูชาติ กณะโร ตำแหน่ง ช่างโยธาชั้น 3 วันที่ส่งตัวอย่าง 2 พย.2543
เจ้าหน้าที่ทดลอง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตรฯ (วท.) วันที่รับผล 31 มค.44 วันที่ทดลอง 14 พย.43-22 มค

แผ่นที่ 1 /2

ผลการทดสอบ

วัสดุ : ELASTOMERIC BEARING PAD ชนิดยาง : Natural Rubber ประเภท : ☑ Laminated ☐ Plain HARDNESS : ☐ 50 ☑ 60	ตัวอย่างที่ 1 ขนาด 300×250× 30.2 mm.	ตัวอย่างที่ 2. ขนาด 350×250× 30.8 mm.	เกณฑ์กำหนด BS 5400 : Section 9.2 : 1983 Hardness 50	Hardness 60
CHARACTERISTICS				
1. PHYSICAL PROPERTIES : Hardness (IRHD)	60.3	59.8	45 - 55	56 - 65
: Tensile strength, minimum, N/mm^2	20.2	19.7	15.5	15.5
: Ultimate elongation , minimum , %	480.0	496.6	450	400
2. HEAT RESISTANCE 166 hours at 70 ± 1°C :				
Change in durometer hardness , maximum points	3.3	3.0	10	10
Change in tensile strength , maximum , %	-7.3	-6.8	15	15
Change in ultimate elongation , maximum , %	-7.8	-7.5	20	20
3. COMPRESSION TEST : 22 hours @ 70 ± 1°C , maximum, %	18.6	17.4	30	30
4. OZONE RESISTANCE : 25 pphm ozone in air by volume , 20 % strain at 30 ± 1°C for 96 hours	No Cracks	No Cracks	No Cracks	No Cracks
5. ADHESION : Bond made during vulcanization, minimum, N/mm	8.9	9.4	7	7
6. LOW TEMPERATURE TEST BRITTLENESS AT -25°C	-	-	No Failure	No Failure
7. LOW TEMPERATURE STIFFENING :				
. 3 hrs. At 23 ± 2°C , maximum , IRHD	-	-	15	15
For 24 hrs. At 23 ± 2°C , maximum , IRHD	-	-	15	15
8. LOW TEMPERATURE CRYSTALLIZATION :				
At -10°C for 10 days , maximum , %	-	-	65	65
At -25°C for 10 days , maximum , %	-	-	65	65
9. FORMING OF ELASTOMERIC BEARING	Pass	Pass	Single unit and freedom from defects	Single unit and freedom from defects

หมายเหตุ Elastomeric Bearing Pad ที่นำมาใช้ในงานนี้ สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง ไม่ได้ทำการทดสอบ Compression Creep Test

ตามรายการทดสอบ
ผลทดลองถูกต้องตามข้อกำหนด ใช้ได้

ผู้ตรวจสอบ.....
(นายจิราภรณ์ ศรีเรไร)
ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร 6 19/1.44

เห็นชอบใช้ได้
ผู้รับรอง.....
(นางสาวนิภา สวรรณมงคล)
ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 7

แทน ผวว.

ผลการทดลองนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทางได้รับเท่านั้น
ผลการวิเคราะห์นี้ห้ามนำไปประกาศโฆษณา

รับที่ วิจัย/พิเศษ/44 ตรวจ 15 กพ.44

ตารางที่ แสดงตัวอย่างผลการทดสอบ **Laminated Bearings**

วท.

คำขอบริการที่ บข.ทฟ. 251 / 42 ที่ ศทม.ทฟ.บข. 251-1 / 42

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ชื่อผู้ขอบริการ : สำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร (โครงการสะพานพระราม 8 ตอนที่ 1)

ที่อยู่ : ถนนมิตรไมตรี เขตดินแดง กรุงเทพ ฯ 10320

การทดสอบ / วิเคราะห์ : แผ่นยางรองคานสะพาน (Laminated Elastomeric Bearing Pad)ขนาด 400x800x50 มม, 1 ตัวอย่าง

วิธีการทดสอบ / วิเคราะห์ : AASHTO, Standard Specification for Highway Bridge 1992, Table 25.2B, Neoprene Rubber

ภาวะการทดสอบ : อุณหภูมิ 73.4 ± 2 °F : ความชื้นสัมพัทธ์ 55 ± 5 %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์ : -

1. Durometer hardness, Shore A	64.0
2. Tensile strength, Psi	2950.3
3. Ultimate elongation on 25 mm. gage length, %	450.0
4. Compression set at 212°F for 22 hrs.(method B), %	12.8
5. Heat resistance at 212°F for 70 hrs.	
- Change in durometer hardness, Points	2.8
- Change in tensile strength, %	- 6.5
- Change in ultimate elongation, %	- 8.6
6 Bond made during vulcanization (Method B), lbf/in.width	78.4
7. Ozone resistance, Exposure to 100 pphm ozone in air by volume for 100 hrs. at 100 ± 2°F, 20% strain(D518 Procedure A)	No Cracks

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

(นายนิรันดร นิ่มนวล)

(นายรัตนะ ไชอารีย์)

ผู้ตรวจสอบ

(นายสุชาติ แก้วทอง)

ผู้อำนวยการห้องปฏิบัติการทดสอบทางฟิสิกส์

ผู้รับรอง

(นายสุรพล วัฒนวงศ์)

ผู้อำนวยการ

ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา

Ref. 1124242062201484001

วันที่รับงาน : 12 กรกฎาคม 2542

วันที่ : 30 กรกฎาคม 2542

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วท

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
๑๙๑ พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ ๑๐๙๐๐ โทร. (๐๒๒) ๕๗๙๑๒๑-๓๐, ๕๗๙๕๕๕-๕๗๙๑๒๑๐, ๕๗๙๕๖๘
โทรสาร (๐๒๒) ๕๖๑๕๗๗๑, ๕๗๙๕๖๘

ตารางที่ แสดงตัวอย่างผลการทดสอบ Laminated Bearings จาก วท.

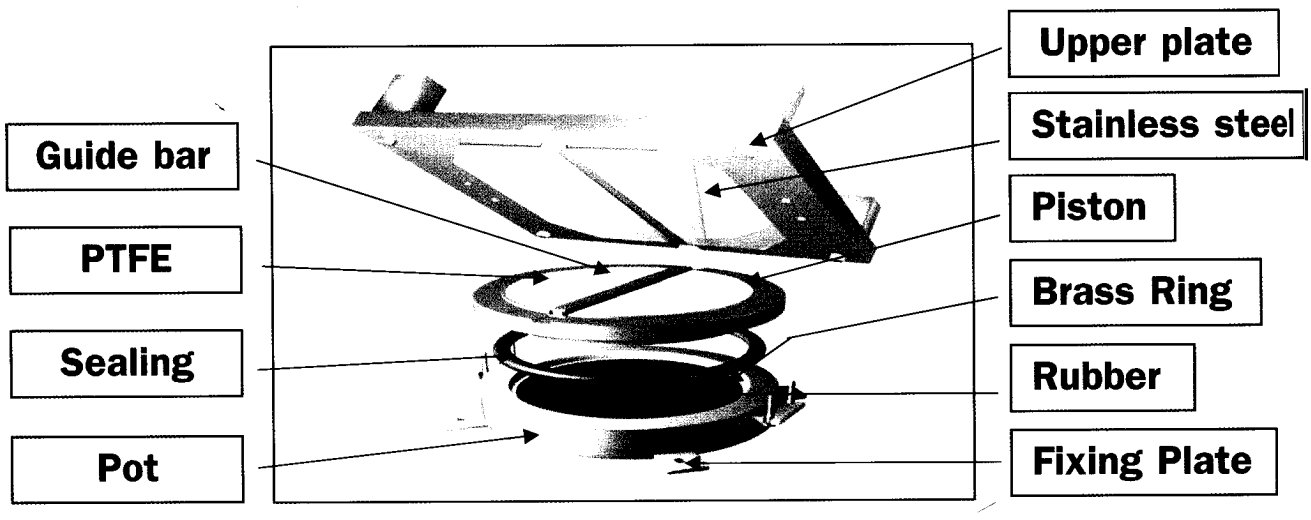
Pot Bearing

บทนำ

งานก่อสร้างสะพานขนาดใหญ่ที่มีความยาวช่วงสะพานมากและเป็นช่วงคานต่อเนื่อง (Continuous Span) โครงสร้างสะพานส่วนบน (Super Structure) โดยทั่วไปออกแบบเป็นคานรูปกล่อง (Box Girder) มี Bridge Bearing ประเภท Pot Bearing ทำหน้าที่กระจายน้ำหนักจากโครงสร้างสะพานส่วนบนลงสู่เสาตอม่อสะพาน (Pier, Column) เนื่องจาก Bearing ชนิดนี้รับน้ำหนักรวมทั้งการเคลื่อนที่ของโครงสร้างส่วนบน (Super Structure) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเคลื่อนตัวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้มากกว่า Laminated Bearing ทั่วไป ส่วนประกอบของ Pot Bearing เช่น Upper Plate, Stainless Steel, Piston, PTFE, Elastomer or Rubber และ Bolt (ดูภาพประกอบ)

ประเภทของ Pot Bearing แบ่งตามลักษณะความสามารถในการเคลื่อนที่ (Movement) ดังนี้

- Fixed Bearing ใช้รับน้ำหนักทางดิ่ง (Vertical load) ไม่สามารถเคลื่อนที่ในทางราบทุกทิศทาง
- Guided Bearing ใช้รับน้ำหนักทางดิ่ง และแรงทางราบ สามารถเคลื่อนที่ทางราบได้แนวแกนเดียว (Uni-directional Bearing ; ↕) โดยมีส่วนประกอบสำคัญ คือ Guide bar บังคับทิศทางการเคลื่อนที่
- Free Sliding Bearing ใช้รับน้ำหนักทางดิ่ง และแรงทางราบ สามารถเคลื่อนที่ทางราบได้ทุกทิศทาง (Multi-directional Bearing ; ✣)



ส่วนประกอบ Pot Bearing

ข้อมูลเบื้องต้น

- แบบก่อสร้างสะพาน จำนวนและประเภท Pot Bearing, Design Vertical Load & Horizontal Load and Rotation, Maximum Longitudinal Translation เพื่อการเลือกใช้ Pot Bearing ให้เหมาะสมถูกต้อง
- ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์ ผลงานในอดีตของผู้ผลิต Pot Bearing เป็นที่เชื่อถือได้และได้รับการยอมรับ การรับประกันอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 10 ปี
- ขั้นตอนวิธีการก่อสร้างคานพื้นสะพาน การคำนวณ Longitudinal Movement ของโครงสร้างคานพื้นสะพานคอนกรีตอัดแรง เนื่องจากอุณหภูมิ Creep และ Shrinkage ของคอนกรีต ความล้าในลวดอัดแรง (Relaxation)

ขั้นตอนการติดตั้ง Pot Bearing

- ศึกษารูปแบบการก่อสร้าง และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องโดยละเอียด
- คำนวณระดับ ตำแหน่งติดตั้ง Pot Bearing ของตอม่อสะพานทุกตับ และจัดทำ Shop drawing เพื่อการ ติดตั้ง
- ตรวจสอบรายการคำนวณระยะยืดตัว และหดตัวของคานพื้นสะพานคอนกรีตอัดแรงจากสาเหตุหลัก คือ อุณหภูมิ และ Creep & Shrinkage เพื่อกำหนดระยะเคลื่อนที่ตามยาวของคานพื้นสะพานที่ตำแหน่ง Pot Bearing บนตอม่อสะพานแต่ละแห่ง
- เลือกใช้ Pot Bearing ที่มีระยะเคลื่อนที่ตามยาวสูงสุด (Maximum Longitudinal Translation) ความสามารถในการรับน้ำหนักทางดิ่ง ทางราบ และ Rotation ให้เหมาะสมกับรายละเอียดข้อมูลการคำนวณการยืดตัว หดตัว และทิศทางแรงกระทำตามแบบกำหนด
- ทำ Block Out ขนาดตามคู่มือผลิตภัณฑ์กำหนดบนเสาตอม่อสะพาน สำหรับฝังเหล็ก Dowel เพื่อยึดฐาน Pot Bearing กับตอม่อสะพาน
- ติดตั้ง Pot Bearing บนตอม่อสะพานในตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยใช้น็อตที่ฝังไว้เพื่อให้ Pot Bearing วางอยู่ในระดับราบ โดย Upper Plate ที่มีการ set back หรือ Presetting ไว้จะต้องอยู่ด้านตรงกันข้ามกับ Fixed Bearing เสมอ
- ประกอบแบบกั้นรอบฐาน Pot Bearing แล้ว Grout ด้วย Non-Shrinkage ใน Block Out จนระดับเสมอแบบกั้นรอบฐาน Pot Bearing ที่เตรียมไว้
- Pot Bearing ส่วนบน (Upper plate) ซึ่งถูกปรับให้อยู่ในตำแหน่งที่เผื่อการเคลื่อนตัว (Presetting)ตามข้อมูลที่คำนวณได้ หรือตามแบบกำหนด จะต้องยึดให้อยู่กับที่ตลอดเวลา
- ประกอบแบบรอบ Pot Bearing ส่วนบนให้สนิทกับแบบ Bottom Slab ของคานพื้นสะพาน
- Block out ส่วนบนของ Pot Bearing โดยการติดตั้งท่อเหล็กครอบเหล็ก Dowel ด้านบนและต่อท่อสำหรับ Grout ด้วย Non – Shrinkage ไว้
- การเทคอนกรีต Bottom Slab ของคานพื้นสะพานต้องระมัดระวังไม่ให้คอนกรีตเข้าไปในส่วนของท่อเหล็กที่ครอบ Dowel เพราะจะทำให้ Pot Bearing รับการถ่ายน้ำหนักจากคานพื้นสะพาน ก่อนกำหนด

- การ Grout ด้วย Non – Shrinkage ในส่วนบนของ Pot Bearing ให้ทำได้เมื่อการก่อสร้างคานพื้นสะพานแล้วเสร็จตลอดช่วงความยาวสะพาน ตามที่กำหนดขั้นตอนการก่อสร้างไว้
- ดำเนินการ Grout ในช่องว่าง Block out ให้เต็ม โดยตรวจสอบการล้นของ Non – Shrinkage จากท่อระบายอากาศ
- เมื่อ Non – Shrinkage สามารถรับแรงอัดได้ตามข้อกำหนดให้รื้อแบบรองรับ Bottom Slab ของคานพื้นสะพานออก พร้อมกับปลดตัวยึด Pot Bearing ส่วนบนออก
- **ข้อควรระวัง** ประเภทของ Pot Bearing (Guided Bearing หรือ Sliding Bearing)จะต้องวางให้อยู่ข้างใดข้างหนึ่งบนตอม่อสะพานตามแบบกำหนด และประเภทเดียวกันอยู่ข้างเดียวกันตลอดความยาวสะพาน

Pot Bearing ที่ติดตั้งบนตอม่อ โดยเทคอนกรีต Non-shrinkage แล้วเสร็จ

Pot Bearing ติดตั้งแล้วเสร็จใต้ Precast Box segment รอการ Grout ด้วย Non-shrinkage

การติดตั้ง Pot Bearing ลงในช่อง Block Out ที่กำหนดไว้บนตอม่อสะพาน

การติดตั้ง Pot Bearing ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยใช้โครงเหล็กยึดให้อยู่ในระดับราบ และปรับเลื่อนเผื่อระยะ Presetting ระหว่าง Upper Part กับ Lower Part

สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Bridge)

บทนำ

งานสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Bridge) โครงสร้างส่วนใหญ่ออกแบบเป็นคอนกรีตเปลือยหล่อในที่ เมื่อทำการถอดแบบหล่อส่วนของโครงสร้างจะได้ขนาด รูปทรง มิติต่างๆ ตามแบบกำหนด โครงสร้างที่แล้วเสร็จมีความแข็งแรง ทนทาน สวยงาม

การก่อสร้างเริ่มตั้งแต่การกำหนดแนว ระดับและตำแหน่งเสาเข็ม ตอม่อสะพาน มุมเฉียงกับลำน้ำ (Skew) ความกว้าง ความยาวของสะพาน ระดับน้ำสูงสุด ระดับน้ำต่ำสุด ช่องลอด ฯลฯ ช่างควบคุมงานต้องตรวจสอบแบบก่อสร้างโดยละเอียดหากไม่เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงในสนาม ให้รายงานสำนักเจ้าของงานทันที

ข้อมูลเบื้องต้น

- รายละเอียดรูปแบบ เช่น ความกว้างทางรถ ความยาวช่วง ลักษณะขอบทาง ทางเท้าและราวสะพาน เป็นต้น
- ข้อมูลงานสำรวจ เช่น แนว ตำแหน่งและค่าระดับหมุดหลักฐานอ้างอิง (Bench Mark, BM.) ระดับน้ำต่ำสุด - สูงสุด มุมเฉียง (Skew)
- ข้อมูลทางธรณีวิทยาของชั้นดิน (Boring Log)
- ถ้าไม่สามารถดำเนินการก่อสร้างสะพานตามรูปแบบกำหนดได้ เช่น ความยาวช่วงไม่เหมาะสม มุมเฉียงกับลำน้ำ ความสูงช่องลอด ฯลฯ ให้เก็บข้อมูลและรายละเอียด ปัญหาอุปสรรคต่างๆ เสนอให้สำนักเจ้าของงานเพื่อดำเนินการต่อไป

เครื่องมือและอุปกรณ์

- ปั้นจั่นสำหรับตอกเสาเข็ม
- เครื่องมือเครื่องจักรในการก่อสร้างโครงสร้างสะพาน ได้แก่ รถขุด (Back Hoe) รถยก (Crane)
- อุปกรณ์เครื่องมือสำหรับงานไม้ งานเหล็ก งานคอนกรีต

ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

- ศึกษารูปแบบการก่อสร้าง และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องโดยละเอียด
- สำรวจชั้นดินบริเวณที่ทำการตอกเสาเข็ม และคำนวณ กำหนดความยาวเสาเข็ม
- ตรวจสอบค่าระดับหมุดหลักฐานอ้างอิง (Bench Mark, B.M.)
- กำหนดแนว ตำแหน่ง ระดับก่อสร้างของโครงสร้างสะพาน

ขั้นตอนการก่อสร้าง

1. การก่อสร้างฐานราก

1.1 ฐานรากชนิดฐานแผ่ (Spread Footing) เหมาะสำหรับดินดาน หินพืด

- กำหนดแนวศูนย์กลางสะพาน(Center Line) ตลอดจนมุมเฉียง(Skew) ช่วงสะพาน(Span) เพื่อกำหนดตำแหน่งตอม่อแต่ละตับ
- กำหนดระดับฐานรากต้องฝังลึกจากท้องคลองอย่างน้อย 2.50 เมตร หรือเป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบค่า Bearing Capacity ต้องไม่น้อยกว่า 10 ton/m^2 หรือเป็นไปตามแบบกำหนด
- กรณีที่เป็นหินพืด ต้องดำเนินการเจาะดูความหนาของหินต้องไม่น้อยกว่า 2.00 เมตรและฐานรากต้องฝังอยู่ในชั้นหินไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร
- บันทึกค่าระดับฐานรากแต่ละตับและแสดงลักษณะดินแต่ละชั้นที่ตรวจพบในการก่อสร้างฐานรากเพื่อรายงานลงในแบบ บ.4.2 โดยละเอียดพร้อมระบายสี

1.2 ฐานรากชนิดเสาตอก (Pile Footing) เหมาะสำหรับดินทั่ว ๆ ไป

- กำหนดแนวศูนย์กลางสะพาน (Center Line) ช่วงสะพาน (Span) เพื่อกำหนดตำแหน่งเสาเข็มและตอม่อแต่ละตับ
- ดำเนินการตอกเสาเข็มคอนกรีตพร้อมจดรายละเอียดการตอกเสาเข็มลงในแบบฟอร์ม ก.1
- การตอกเสาเข็มต้องใช้เครื่องกว้านยนต์และลูกตุ้มหนักไม่ต่ำกว่า 80% ของน้ำหนักเสาเข็มที่ใช้ตอก และต้องหนักไม่น้อยกว่า 3 ตัน กรณีเป็นเครื่องตอกเสาเข็มชนิด Diesel Hammer หรือชนิดอื่นให้เสนอรายละเอียดเพื่อขออนุมัติต่อนายช่างโครงการฯ
- การตอกเสาเข็ม ต้องระมัดระวังคอยตรวจสอบไม่ให้ผิดจากตำแหน่งเสาที่กำหนดไว้ในแบบเกินกว่า 7.5 ซ.ม. ตามข้อกำหนดของ AASHTO
- การตอกเสาเข็มต้นหนึ่งๆ ต้องตอกรวดเดียว และถ้ามีอุปสรรคใดๆ ที่ทำให้เสียเวลาหยุดตอก ต้องพยายามแก้ไขให้เร็วที่สุดและดำเนินการตอกเสาเข็มต้นนั้นให้แล้วเสร็จ
- ขณะตอกเสาเข็มปรากฏว่ามีรอยแตกร้าวหรือเสาเข็มหักด้วยเหตุประการใดก็ตามต้องดำเนินแก้ไข ดังนี้
- กรณีรอยแตกร้าวเกิดขึ้นที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของเสาเข็มเหนือระดับน้ำหรือเหนือระดับดินต้องสกัดส่วนที่แตกร้าว หรือหักออก แล้วหล่อคอนกรีตใหม่ อายุคอนกรีตใหม่ไม่ควรน้อยกว่า 3 วัน และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเป็นไปตามข้อกำหนด จึงทำการตอกเสาเข็มต่อไปได้
- กรณีเกิดรอยแตกร้าวที่ไม่มาก สามารถซ่อมแซมได้ ให้เสนอวิธีการแก้ไขต่อนายช่างควบคุมงาน
- กรณีเสาเข็มหักใต้ระดับน้ำ หรือใต้ระดับดิน ไม่สามารถซ่อมได้ต้องดำเนินการถอนเสาเข็มต้นนั้นแล้วนำเสาเข็มต้นอื่นมาตอกใหม่ ถ้าไม่สามารถถอนเสาเข็มได้ ช่างควบคุมงานต้องรายงานสำนักเจ้าของงาน
- เมื่อตอกเสาเข็มแล้วเสร็จต้องลงบันทึกรายละเอียดการตอกเสาเข็มแต่ละต้นตามแบบที่ ก.1

2. การก่อสร้างคานยึด (Bracing)

- ตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งก่อสร้างคานยึด
- กรณีเสาเข็มหนีศูนย์ไม่เกินกว่าข้อกำหนด หรือ 75 มม. ให้พิจารณาขยายความกว้างคานยึด
- กำหนดระดับท้องคานยึด เพื่อตัดหัวเสาเข็มโดยให้ระดับตัดเสาเข็มสูงกว่าระดับท้องคานยึด
- ดำเนินการตัดคอนกรีตหัวเสาเข็ม โดยใช้ใบตัดคอนกรีตตัดให้รอบหัวเข็ม และทำการทุบหัวเสาเข็มที่ตัดแล้วเสร็จ
- ดำเนินการก่อสร้างนั่งร้าน ค้ำยัน และไม้แบบที่จะใช้หล่อคอนกรีต การยึดโยงต่างๆ ต้องมั่นคงแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักของเหล็กเสริมและคอนกรีตได้
- ดำเนินการประกอบโครงเหล็กเสริม ให้ถูกต้องทั้งชนิดและขนาด และต้องไม่มีสนิมขุม ไม่เปื้อนน้ำมัน คราบโคลน ส่วนการเชื่อมและต่อทาบ การดัดงอให้เป็นไปตามหลักวิชาการ
- ประกอบแบบหล่อคอนกรีต ที่ทาน้ำมันทาแบบแล้วแบบต้องได้ขนาดความกว้าง ความยาว แนวและมุมที่ถูกต้อง ติดตั้งบัวลบเหลี่ยม และติดตั้งหนุนลูกปูนเพื่อให้ได้ระยะ Covering ตามแบบกำหนด
- ทำความสะอาดภายในแบบหล่อที่ประกอบแล้วเสร็จ อุดรูรอยต่อต่างๆ ป้องกันการรั่วของคอนกรีต
- เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ บุคลากร ให้พร้อม แล้วดำเนินการเทคอนกรีตต่อไป

3. การก่อสร้างเสาตอม่อสะพาน (Column)

- กำหนดตำแหน่งเสาแต่ละต้นให้ถูกต้องตามแบบ
- ดำเนินการก่อสร้างนั่งร้าน ค้ำยัน และไม้แบบที่จะใช้หล่อคอนกรีต การยึดโยงต่างๆ ต้องมั่นคงแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักของเหล็กเสริมและคอนกรีตได้
- ดำเนินการประกอบโครงเหล็กเสริม ให้ถูกต้องทั้งชนิดและขนาด และต้องไม่มีสนิมขุม ไม่เปื้อนน้ำมัน คราบโคลน ส่วนการเชื่อมและต่อทาบ การดัดงอให้เป็นไปตามหลักวิชาการ
- ประกอบแบบหล่อคอนกรีต ที่ทาน้ำมันทาแบบแล้วแบบต้องได้ขนาดความกว้าง ความยาว แนวและมุมที่ถูกต้อง ติดตั้งบัวลบเหลี่ยม และติดตั้งหนุนลูกปูนเพื่อให้ได้ระยะ Covering ตามแบบกำหนด
- กำหนดระดับการเทคอนกรีตเสาทุกต้น
- ทำความสะอาดภายในแบบหล่อที่ประกอบแล้วเสร็จ อุดรูรอยต่อต่างๆ ป้องกันการรั่วของคอนกรีต
- เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ บุคลากร ให้พร้อม เมื่อทุกอย่างเรียบร้อยจึงดำเนินการเทคอนกรีตต่อไป

4. การก่อสร้างคานหัวเสา (Cap Beam)

- สำรวจและกำหนดขนาด ระดับของคานหัวเสาให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง
- ดำเนินการก่อสร้างนั่งร้าน ค้ำยัน และไม้แบบที่จะใช้หล่อคอนกรีต การยึดโยงต่างๆ ต้องมั่นคงแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักของเหล็กเสริมและคอนกรีตได้

- ดำเนินการประกอบโครงเหล็กเสริม ให้ถูกต้องทั้งชนิดและขนาด และต้องไม่มีสนิมขุม ไม่เปื้อนน้ำมัน คราบโคลน ส่วนการเชื่อมและต่อทาบ การดัดงอให้เป็นไปตามหลักวิชาการ
- ประกอบแบบหล่อคอนกรีต ที่ทาน้ำมันทาแบบแล้วแบบต้องได้ขนาดความกว้าง ความยาว แนวและมุมที่ถูกต้อง ติดตั้งบัวลบเหลี่ยม และติดตั้งหนุนลูกปูนเพื่อให้ได้ระยะ Covering ตามแบบกำหนด
- กำหนดตำแหน่งติดตั้ง Dowel ตามแบบรายละเอียด
- ทำความสะอาดภายในแบบหล่อที่ประกอบแล้วเสร็จ อุดรูรอยต่อต่างๆ ป้องกันการรั่วของคอนกรีต
- เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ บุคลากร ให้พร้อม เมื่อทุกอย่างเรียบร้อยจึงดำเนินการเทคอนกรีตเป็นลำดับต่อไป

5. โครงสร้างส่วนบน (Supperstructures)

ประกอบด้วย

5.1 โครงสร้างพื้นสะพาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

5.1.1 R.C. Slab Type

5.1.2 P.C. Plank Girder Type

5.2 ทางเท้าและราวสะพาน (Sidewalk & Railing)

5.1 โครงสร้างพื้นสะพาน

5.1.1 R.C. Slab Type

- เมื่อก่อสร้างคานหัวเสา (Cap Beam) แล้วเสร็จตรวจสอบและวางแนวพร้อมกำหนดระดับเพื่อก่อสร้างพื้นสะพาน
- ติดตั้งนั่งร้าน ค้ำยัน เพื่อประกอบแบบหล่อพื้นสะพาน ระดับแบบหล่อด้านรอยต่อพื้นสะพานต้องมีระดับหลังแบบเสมอเท่าระดับที่เทคอนกรีต เพื่อให้เกิดความเรียบ
- ติดตั้งแบบหล่อพื้นสะพาน ให้ได้ระดับ แนวและขนาดของสะพานตามแบบก่อสร้าง
- ตรวจสอบตำแหน่งช่องเจาะ ช่องระบายน้ำ ให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง
- กำหนดตำแหน่งเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้างติดตั้งเหล็ก Bar Chair เพื่อให้เหล็กเสริมบนอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง
- เหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาดไม่มีสนิมขุม คราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ถ้ามีจะต้องทำความสะอาดก่อน
- กำหนดระดับพื้นวางตำแหน่งและติดตั้งเหล็กทำระดับ เพื่อใช้ในการปรับแต่งหน้าปูนเวลาเทคอนกรีตเหล็กระดับต้องมีการผูกยึดติดอย่างแข็งแรง
- ทำความสะอาดภายในแบบหล่อที่ประกอบแล้วเสร็จ อุดรูรอยต่อต่างๆ ป้องกันการรั่วของคอนกรีต
- เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ บุคลากร ให้พร้อม เมื่อทุกอย่างเรียบร้อยจึงดำเนินการเทคอนกรีตเป็นลำดับต่อไป

5.1.2 P.C. Plank Girder Type

การผลิต Plank Girder

- ตรวจสอบแบบก่อสร้าง (Shop Drawings) เช่น มุม Skew ตำแหน่งและจำนวนเหล็ก Shear Connecter เป็นต้น
- กำหนดรูปแบบขนาด แนว มุม Skew ในการติดตั้งแบบที่ฐานหล่อ (Bed)
- ผูกเหล็กเสริมและร้อยลวดอัดแรง ตามแบบก่อสร้าง
- ติดตั้งอุปกรณ์ยึดลวดอัดแรง (Grip) โดยให้ปลายสมอยึดไม่เหลื่อมกัน
- ดำเนินการดึงลวดอัดแรง โดยให้ดึง Pre-Load (ประมาณ 10 – 15% ของแรงดึงตามข้อกำหนดในแบบ) แล้วทำเครื่องหมายบนลวดอัดแรงทุกเส้น แล้วจึงดึงด้วยแรงตามที่กำหนดไว้ โดยจดบันทึกค่าการยืดตัว (Elongation) บนหน้าปัทม์ วัดแรงดัน (Pressure Gauge) ของลวดอัดแรงทุกเส้น โดยอ่านค่าความดันที่กำหนดเปรียบเทียบกับค่ายืดตัวจากการคำนวณหากค่าแตกต่างกันให้ใช้ค่าจากการคำนวณ
- ผูกเหล็กเสริม และกำหนดตำแหน่งหูยก ตำแหน่ง Shear Key รูเสียบเหล็ก Dowel ให้เป็นไปตามที่แบบกำหนด
- ประกอบแบบข้างที่ทาน้ำมันทาแบบแล้ว พร้อมทั้งยึดค้ำยันให้แข็งแรง
- ทำความสะอาดภายในแบบหล่อที่ประกอบแล้วเสร็จ อุดรูรอยต่อต่างๆ ป้องกันการรั่วของคอนกรีต
- เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ บุคลากร ให้พร้อม เมื่อทุกอย่างเรียบร้อยจึงดำเนินการเทคอนกรีตเป็นลำดับต่อไป
- ตรวจสอบสภาพความเรียบร้อยของลวดอัดแรงอีกครั้งหนึ่งก่อนการดึงชั้นต่อไป

การตัดลวดอัดแรง

- ก่อนการตัดลวดอัดแรงต้องตรวจสอบความสามารถการรับกำลังอัด ของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- การตัดลวดอัดแรงให้สลับตำแหน่ง ระหว่าง Plank Girder เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัว โดยห้ามใช้ความร้อนในการตัดลวด
- ทำการตัดลวดอัดแรงตามลำดับตามที่กำหนด โดยให้ตัดเรียบเสมอผิวคอนกรีตแล้วทาปลายลวดด้วย Epoxy หรือวัสดุอื่นที่ได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานเพื่อป้องกันการเกิดสนิม
- ทำการตรวจสอบระยะ Slip ของลวดอัดแรงทุกเส้น
- ดำเนินการยก กองเก็บ ขนส่ง โดยการกองเก็บ และการขนส่งให้รองหมอนที่จุดยกเท่านั้น

การติดตั้ง Plank Girder

- จัดเตรียมพื้นที่สำหรับเครื่องจักรที่จะติดตั้ง Plank Girder
- จัดเตรียมบุคคลากรและเครื่องมือสำหรับการติดตั้งให้เพียงพอ
- จัดลำดับการติดตั้งตำแหน่ง Plank Girder ให้เหมาะสม
- รวมถึงการติดตั้ง Bearing Pad ให้ถูกต้องตามแบบ

- ทำการเชื่อมต่อ Shear Connector ให้เป็นไปตามแบบก่อสร้าง
- ภายหลังการติดตั้ง Plank Girder ต้องแนบสนิดกับ Bearing Pad หากไม่แนบสนิดให้ทำการแก้ไข

การเทคอนกรีตพื้นสะพาน

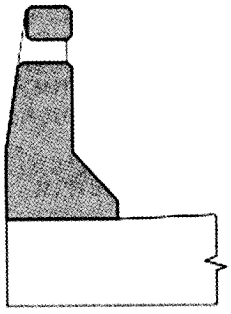
- เมื่อก่อสร้างคานตอม่อ (Cap Beam) เสร็จแล้วจึงทำการตรวจสอบและวางแนวต่างๆ เพื่อจะทำการก่อสร้างพื้นสะพาน
- ตรวจสอบค่ามุม Skew (ถ้ามี) พร้อมตรวจสอบและกำหนดระดับต่างๆ เพื่อติดตั้งแบบสำหรับหล่อคอนกรีตพื้นสะพาน
- ติดตั้งนั่งร้าน ค้ำยัน เพื่อประกอบแบบหล่อในส่วนพื้นสะพาน
- ติดตั้งแบบหล่อพื้นสะพาน ให้ได้ระดับ แนวและขนาดของสะพานตามแบบก่อสร้าง
- ตรวจสอบตำแหน่งช่องเจาะต่างๆ เช่น ช่องระบายน้ำ ต้องมีการเตรียมการทั้งในส่วนของไม้แบบและเหล็กเสริมต่างๆ ให้เป็นไปตามแบบก่อสร้าง
- กำหนดตำแหน่งและระยะของเหล็กเสริมต่างๆ ให้ชัดเจนและถูกต้องตามแบบก่อสร้าง ดำเนินการผูกประกอบเหล็กเสริม ให้เป็นไปตามรูปแบบ ทั้งชนิดและขนาดของเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้างกำหนด มีการติดตั้งเหล็ก Bar Chair เพื่อให้เหล็กอยู่ในตำแหน่งและให้พื้นได้ความหนาที่ถูกต้อง
- เหล็กเสริมที่ใช้ต้องสะอาดไม่มีสนิมขุม คราบโคลน น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ถ้ามีจะต้องทำความสะอาดก่อน
- ประกอบกั้นแบบข้าง และค้ำยันให้มั่นคงแข็งแรง
- กำหนดระดับพื้นวางตำแหน่งเหล็กทำระดับ เพื่อใช้ในการปรับแต่งหน้าปูนเวลาเทคอนกรีต เหล็กระดับต้องมีการผูกยึดติดอย่างแข็งแรง
- ทำความสะอาดภายในแบบหล่อที่ประกอบแล้วเสร็จ อุดรูรอยต่อต่างๆ ป้องกันการรั่วของคอนกรีต
- เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ บุคลากร ให้พร้อม เมื่อทุกอย่างเรียบร้อยจึงดำเนินการเทคอนกรีตเป็นลำดับต่อไป

5.2 ทางเท้า ขอบทางและราวสะพาน

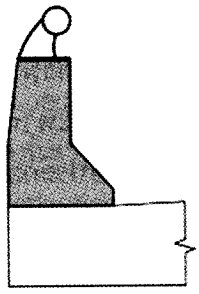
- ดำเนินการสำรวจแนว และระดับให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง
- ดำเนินการผูกโครงเหล็กเสริมให้เป็นไปตามรูปแบบก่อสร้าง
- กำหนดตำแหน่งช่องระบายน้ำพร้อมประกอบแบบ Block ไว้
- ดำเนินการประกอบแบบหล่อคอนกรีตและยึดค้ำยัน ติดตั้งบัวลบเหลี่ยม ลูกปูนให้ได้ Covering
- ทำความสะอาดภายในแบบหล่อที่ประกอบแล้วเสร็จอุดรูรอยต่อต่างๆ ป้องกันการรั่วของคอนกรีต
- เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ บุคลากร ให้พร้อม เมื่อทุกอย่างเรียบร้อยจึงดำเนินการเทคอนกรีตเป็นลำดับต่อไป

งานก่อสร้างทางเท้า ราวสะพานและขอบทาง

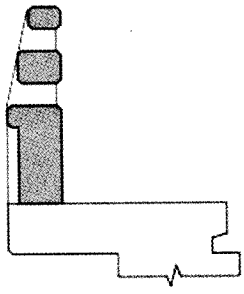
ทางเท้า ราวสะพานและขอบทาง ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง (Standard drawing 1994 DWG. No.Ms-01 หน้า 181) มี 4 รูปแบบ ดังนี้



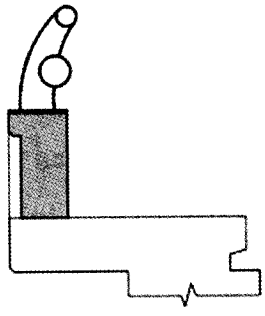
TYPE 1 TRAFFIC RAILING



TYPE 2 TRAFFIC RAILING



TYPE 3 COMBINATION RAILING



TYPE 4 COMBINATION RAILING

รูปที่ 1 แสดงแบบทางเท้า ราวสะพานและขอบทาง

แบบที่ 1 เป็นขอบทางสูง 70 cm. เสาราวสูง 10 cm. และราวสะพานสูง 15 cm.

แบบที่ 2 เป็นขอบทางสูง 70 cm. ตุ๊กตาเสาราวเหล็กและท่อเหล็กสูง 25 cm.

แบบที่ 3 เป็นพื้นทางเท้าสูง 23 cm. ขอบทางสูง 45 cm. เสาราวชั้นแรกสูง 10 cm. ราวสะพานชั้นแรกสูง 15 cm. เสาราวชั้นที่ 2 สูง 10 cm. ราวสะพานชั้นที่ 2 สูง 10 cm.

แบบที่ 4 เป็นทางเท้าสูง 23 cm. ขอบทางสูง 45 cm. ตุ๊กตาเสาราวเหล็ก และท่อเหล็กราวสะพาน 2 ชั้น สูง 45 cm.

ขั้นตอนการก่อสร้างขอบทางแบบที่ 1 และแบบที่ 2

ขอบทางแบบที่ 1 และแบบที่ 2 มีลักษณะเหมือนกันในส่วนล่างของขอบทาง แต่ต่างกันในส่วนของเสาราวและราวสะพาน โดยแบบที่ 1 เป็นราวคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบที่ 2 เป็นราวท่อเหล็ก มีขั้นตอนการก่อสร้าง ดังนี้

- วางแนวศูนย์กลางสะพานบนพื้นสะพานที่แล้วเสร็จ
- กำหนดแนวด้านหน้าขอบทางโดยวัดระยะจากแนวศูนย์กลางสะพาน และวัดระยะจากแนวขอบทางด้านหน้าออกมาประมาณ 0.50 ม. เพื่อใช้อ้างอิงในการติดตั้งแบบขอบทาง และราวสะพานด้านบน
- ตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริมขอบทางที่ฝังอยู่กับพื้น (เหล็ก No. S101, S102) ให้มีระยะหุ้มคอนกรีตเพียงพอ เป็นไปตามแบบกำหนด
- ติดตั้งหลักระดับชั่วคราวทุกระยะ 2 เมตร สำหรับกำหนดความสูงการติดตั้งเหล็กเสริม
- ผูกเหล็กเสริมขอบทางตามแบบกำหนด
- ทำความสะอาดแบบ และทาน้ำมันแบบให้เรียบร้อย
- ประกอบแบบขอบทางด้านหน้าตามแนวที่กำหนดไว้ ยึดค้ำยันให้มั่นคงแข็งแรง
- กรณีต้องก่อสร้างรอยต่อที่ขอบทาง ให้ใช้กระดาษชานอ้อยประกบด้วยไม้อัดหนา 4 มิลลิเมตร สองด้าน ตัดเป็นรูปขอบทาง ติดตั้งที่ตำแหน่งของรอยต่อให้ได้แนวดิ่งโดยเชื่อมยึดให้มั่นคงแข็งแรง
- กำหนดแนวระดับที่ด้านนอกพื้นสะพาน เพื่อติดตั้งเหล็กกล่องขนาด 4 x 4 สำหรับใช้รองรับแบบขอบทางด้านหลัง
- ติดตั้งแบบขอบทางด้านหลังบนเหล็กกล่อง ปรับเสริมแบบให้บัวลบเหลี่ยมของแบบด้านบนได้ระดับ และยึดให้มั่นคงแข็งแรง
- ทำความสะอาดภายในแบบ พร้อมอุดรอยรั่วด้วยแผ่นฟองน้ำ หรือซิลิโคน ก่อนเทคอนกรีตต้องราดน้ำปูนบนพื้นสะพานเดิมให้ชุ่มทั่ว
- เทคอนกรีตเป็นชั้นหนาชั้นละประมาณ 30 – 40 เซนติเมตร และทำให้คอนกรีตแน่นตัวอย่างสม่ำเสมอ
- ฉีดน้ำล้างทำความสะอาดคราบน้ำปูนบนพื้นสะพานและขอบสะพานด้านนอก
- กรณีเป็นราวสะพานแบบที่ 1 เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้ฝังเหล็กเสาราวตามตำแหน่งที่แบบกำหนด
- กรณีเป็นราวสะพานแบบที่ 2 ให้ฝังน็อตสำหรับยึดตุ๊กตาตามตำแหน่งที่แบบกำหนด โดยใช้แผ่นไม้อัดเจาะรูแสดงตำแหน่งของน็อตมาทาบบนปากแบบ จัดน็อตให้ได้ดิ่ง และมีความสูงเหมาะสมทุกจุด
- ขัดแต่งผิวบนคอนกรีตขอบทางให้เรียบ และเสมอบัวตลอดแนว บ่มคอนกรีตด้วยกระสอบคลุมแล้วราดน้ำให้ชุ่ม

รูปที่ 2 แสดงการค้ำยันแบบขอบทางด้านหน้า

รูปที่ 3 แสดงการค้ำยันแบบขอบทางด้านหลัง

ขั้นตอนการก่อสร้างราวสะพานคอนกรีตด้านบนแบบที่ 1

- กำหนดตำแหน่งแนวเสาราว ที่ผิวบนของขอบทาง
- วางตงไม้ ขนาด 1½ x 3 ยึดกับขอบทางให้มั่นคงแข็งแรง
- ประกอบแบบเสาราวและปูแบบท้องพื้นราวสะพานด้วยไม้แผ่นขนาด 1 x 8 ให้ได้ระดับ
- ติดบัวเสาราวและราวสะพานตลอดแนว
- ประกอบแบบหน้าราวและหลังราวด้วยไม้แผ่น ขนาด1x8 ยึดค้ำยันกับตงไม้ 1½ X 3 ให้มั่นคงแข็งแรง
- ตรวจสอบแนวขอบราวด้านหน้าให้ได้ตามแนวที่กำหนด
- นำเหล็กเสริมราวสะพานที่ผูกเตรียมไว้แล้วมาติดตั้งในแบบ
- ยึดขอบบนแบบราวสะพานทุกระยะ 60 ซม. ให้ได้ความกว้างตามแบบ
- กำหนดระดับด้านบนราวสะพาน และติดบัวลบเหลี่ยม
- ทำความสะอาดภายในแบบหล่อราวสะพาน
- เทคอนกรีตเสาราวและราวสะพาน ทำให้คอนกรีตแน่นอย่างสม่ำเสมอ และปาดแต่งผิวบนให้เรียบ
- ขัดแต่งผิวบนคอนกรีตโดยใช้ปูนผสมทรายละเอียดโรยหน้า แล้วขัดให้เรียบและเนียนเสมอแนวบัวตลอดความยาว
- บ่มคอนกรีตด้วยกระสอบชุ่มน้ำอย่างน้อย 3 วัน
- รื้อแบบ และแต่งให้เรียบร้อย

ขั้นตอนการก่อสร้างราวท่อเหล็กด้านบนแบบที่ 2

- ติดตั้งตุ๊กตาเสาราวบนขอบทางให้ตรงตำแหน่งของน็อตที่ฝังเตรียมไว้ ขันน็อต ยึดให้แน่น
- ตัดต่อท่อเหล็กราวสะพานให้ได้ความยาวตามแบบกำหนด
- เชื่อมปิดปลายท่อทั้งสองด้านด้วยแผ่นเหล็กกลม เจียร์แต่งให้เรียบร้อยสวยงาม
- ติดตั้งท่อเหล็กราวสะพานเข้ากับตุ๊กตา โดยการเจาะรูท่อ เพื่อสวมน็อตเข้ากับตุ๊กตา
- ปรับแนวท่อเหล็กราวสะพานให้ตรงและได้ระดับ ด้วยการปรับน็อตตุ๊กตาแล้วขันให้แน่น
- ใช้ Non-Shrink Cement แต่งช่องรอยต่อรอบฐานแผ่นเหล็กตุ๊กตากับผิวบนขอบทางโดยทำเป็นมุมประมาณ 45° เพื่อป้องกันน้ำซึมเข้าใต้แผ่นเหล็กตุ๊กตา

ขั้นตอนการก่อสร้างทางเท้าและราวสะพานแบบที่ 3 และแบบที่ 4

ทางเท้าและราวสะพานแบบที่ 3 และแบบที่ 4 มีลักษณะเหมือนกันในส่วนของพื้นทางเท้าและขอบทางบนทางเท้า ต่างกันเฉพาะราวสะพานส่วนบนโดยแบบที่ 3 เป็นราวคอนกรีต 2 ชั้น ส่วนแบบที่ 4 เป็นเสาตุ๊กตาเหล็กและราวท่อเหล็ก 2 ชั้น มีขั้นตอนการก่อสร้างดังนี้

- วางแนวศูนย์กลางสะพานบนพื้นสะพานที่แล้วเสร็จ

- กำหนดแนวด้านหน้าของขอบทางเท้า โดยวัดระยะจากแนวศูนย์กลางสะพานและวัดระยะจากแนวด้านหน้าของขอบทางเท้าประมาณ 0.50 ม. เพื่อใช้อ้างอิงในการติดตั้งแบบทางเท้าและราวสะพานด้านบน
- ติดตั้งแบบด้านล่างพื้นทางเท้าส่วนที่ยื่นเกินจากพื้นสะพานด้านนอกโดยใช้นั่งร้านเหล็กยึดแขวนกับด้านข้างพื้นสะพานที่ฝั่งน็อตยึดเตรียมไว้แล้ว โดยคำนึงถึงน้ำหนักของคอนกรีตและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน
- เชื่อมยึดนั่งร้านเหล็กตลอดแนวด้วยเหล็ก DB 16 มม. เพื่อความมั่นคงแข็งแรง
- เจาะรูนั่งร้านเหล็กด้านบนเพื่อสวม U – Jack 2 ตัว ให้ระยะห่างเหมาะสมกับความกว้างของพื้นและแบบที่ใช้รองพื้น โดยทั่วไปเจาะรูแถวแรกห่างขอบพื้นด้านนอกประมาณ 10 cm. รูแถวที่สองเจาะห่างจากรูแถวแรกประมาณ 40 cm.
- วางเหล็กกล่องขนาด 4 X 4 บน U–Jack ปรับระดับ U–Jack ให้เหล็กกล่องได้ระดับตามต้องการ เชื่อมยึดค้ำยันเหล็กกล่องกับนั่งร้านเหล็กให้แข็งแรง
- ปูแบบบนเหล็กกล่องพร้อมกำหนดแนวขอบทางเท้าด้านนอกให้ชัดเจน ติดบัวลบเหลี่ยม
- ผูกเหล็กเสริมพื้นทางเท้าให้ได้ตำแหน่งตามแบบกำหนด รวมถึงเหล็กเสริมสำหรับขอบทางบนทางเท้าด้วย
- ติดตั้งแบบด้านข้างพื้นทางเท้าให้เป็นไปตามแบบ พร้อมยึดค้ำยันให้แข็งแรง
- กำหนดตำแหน่งและติดตั้งท่อระบายน้ำตามแบบกำหนด
- ทำความสะอาดภายในแบบ พร้อมอุดรอยรั่วก่อนทำการเทคอนกรีต
- ก่อนเทคอนกรีตให้ราดน้ำปูนบนพื้นสะพานเดิม
- เทคอนกรีตถึงระดับที่กำหนด และทำให้คอนกรีตแน่นตัวอย่างสม่ำเสมอ
- แต่งหน้าคอนกรีตพื้นทางเท้าให้เรียบด้วยเกรียงไม้ และขัดผิวคอนกรีตในส่วนที่ต้องก่อสร้างขอบทางเท้าให้เป็นร่อง
- บ่มคอนกรีตด้วยการพ่นน้ำยาบ่มคอนกรีตหรือคลุมด้วยกระสอบชุ่มน้ำ
- ดำเนินการก่อสร้างขอบทางเท้าตามขั้นตอนการก่อสร้างขอบทางแบบที่ 1

ขั้นตอนการก่อสร้างราวสะพานด้านบนแบบที่ 3 และแบบที่ 4

- กรณีแบบที่ 3 ให้ดำเนินการตามขั้นตอนของการก่อสร้างราวสะพานคอนกรีตด้านบนแบบที่ 1 จำนวน 2 ชั้น
- กรณีแบบที่ 4 ให้ดำเนินการตามขั้นตอนของการก่อสร้างราวท่อเหล็กด้านบนแบบที่ 2

รูปที่ 4 แสดงการประกอบแบบทางเท้าและราวสะพาน

รูปที่ 5 แสดงการเทคอนกรีตทางเท้าและราวสะพาน

ขอบทางแบบ Precast Fin

เพื่อลดระยะเวลาการประกอบ และติดตั้งแบบด้านหลังของขอบทาง หรือทางเท้า อาจดำเนินการหล่อแบบแผ่นหลัง (Precast Fin) ของขอบทางนำมาติดตั้งบนพื้นสะพาน แล้วเข้าแบบเฉพาะแบบด้านหน้า ทำให้การก่อสร้างขอบทางทำได้สะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย

ขั้นตอนการดำเนินการ

- กำหนดความยาวของแผ่น Fin โดยพิจารณาจากความยาวช่วงสะพาน และตำแหน่งรอยต่อพื้นสะพานรวมถึงความยาวโค้งของสะพานด้วย
- กำหนดระดับด้านบนของ Fin
- หล่อแผ่น Fin
- ติดตั้งแผ่น Fin
- ติดตั้งแบบด้านหน้าของขอบทาง
- เทคอนกรีตขอบทาง
- ตกแต่งให้เรียบร้อย สวยงาม

ขั้นตอนการก่อสร้าง

- กำหนดระดับบนพื้นสะพานโดยการปั้นปูนทราย (Mortar) เพื่อติดตั้ง Precast Fin ให้ได้ระดับตาม Profile และด้านหลังของแผ่น Fin ได้แนวเดียวกัน เชื่อมเหล็กเสริม Fin ยึดติดกับเหล็กเสริมที่เตรียมไว้ อุดรอยต่อระหว่าง Fin กับพื้นสะพานด้วย Mortar ตลอดแนว
- กำหนดแนวด้านหน้าของขอบทางตลอดความยาวสะพาน
- ติดตั้งเหล็กเสริมเพิ่มเติมตามแบบรายละเอียด
- ติดตั้งแบบด้านหน้าให้ได้แนว และระดับกับแผ่น Fin ยึดให้มั่นคงแข็งแรง พร้อมกำหนดรอยต่อให้ตรงกับรอยต่อพื้นสะพาน
- เทคอนกรีต ล้างทำความสะอาดไม่ให้เศษคอนกรีตสกปรก ทำให้คอนกรีตแน่นตัว
- ตกแต่งให้เรียบร้อย และสวยงาม

ข้อควรระวัง

- พื้นสะพานที่รองรับแผ่น Fin จะต้องได้แนวและระดับ โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ในโค้งดิ่ง หรือโค้งราบ
- แผ่น Fin ที่ทำการหล่อ ถ้าอยู่ในโค้งนอกหรือโค้งใน เวลาหล่อจะต้องเรียงแบบด้านข้างของ Fin รับกับโค้งด้วย
- แบบที่ใช้หล่อแผ่น Fin จะต้องไม่บิดหรือโก่ง เมื่อหล่อคอนกรีต Fin แล้วเสร็จให้จัดเรียงอย่างเป็นระเบียบป้องกันการกระแทกเสียหาย หรือคราบสกปรกจากน้ำโคลน

การติดตั้งแผ่นขอบทางคอนกรีตแบบหล่อสำเร็จ (Precast)

ขอบทางแบบ Precast Fin เมื่อแล้วเสร็จ

คานคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Girder)

บทนำ

งานก่อสร้างสะพานในปัจจุบันใช้คอนกรีตอัดแรงในการก่อสร้างชิ้นส่วนต่างๆมากขึ้น เช่น เสาเข็ม ตอม่อ คาน เป็นต้น จำเป็นต้องใช้ความรู้ด้านคอนกรีตอัดแรงในการปฏิบัติเพื่อให้ผลงานก่อสร้างเป็นไปตามที่ออกแบบไว้

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

คานคอนกรีตอัดแรงแบ่งตามกรรมวิธีการผลิตเป็น 2 ประเภท คือ

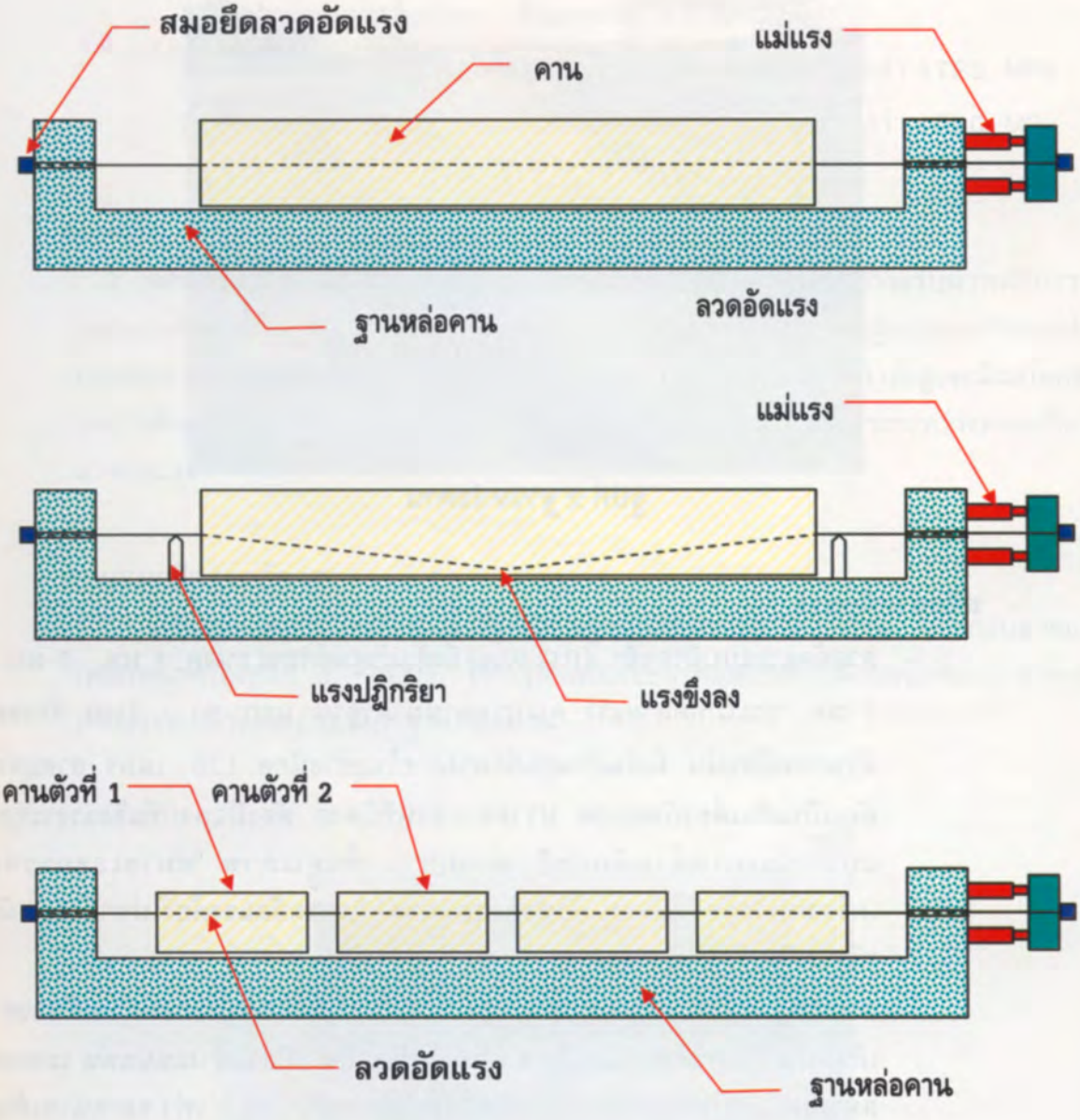
1. การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงก่อน (Pre-Tension Method)
2. การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง (Post-Tension Method)

ข้อมูลเบื้องต้น

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

1. การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงก่อน (Pre-Tensioned)

การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงก่อนหมายถึงการดึงลวดอัดแรงก่อนเทคอนกรีต เป็นวิธีการอัดแรงที่ใช้กันแพร่หลาย เหมาะสำหรับการผลิตในโรงงานซึ่งมีการก่อสร้างฐานหล่อคอนกรีตถาวร (Bed) ที่มีความยาวมาก สามารถหล่อคานคอนกรีตได้จำนวนมากต่อการดึงลวดอัดแรงหนึ่งครั้ง ซึ่งปกติเป็นคานคอนกรีตที่มีความยาวตั้งแต่ 5.00 – 25.00 เมตร



รูปที่ 1 แสดงวิธีการอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงก่อน

องค์ประกอบของงานหล่อคานคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงก่อน (Pre-Tensioned Method)

- **ฐานหล่อคาน (Bed)**

ในงานผลิตคานคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงก่อน ฐานหล่อคานเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก ทำหน้าที่รับแรงที่เกิดจากการดึงลวดอัดแรงได้อย่างปลอดภัย นอกจากนั้นยังรับแรงดัด(Moment) และแรงเฉือนได้ด้วย

รูปที่ 2 ฐานหล่อคาน

- **ชนิดลวดอัดแรง**
  - ลวดอัดแรงแบบมีรอยย้ำ (P.C. Wire) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาด 4 มม. 5 มม. และ 7 มม. ประเภทคลายแรง คุณภาพตามมาตรฐาน มอก. 95 - 2540 ต้องขดเป็นม้วนกลมมัดแน่น มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในอย่างน้อย 1.20 เมตร ลวดแต่ละขดต้องเป็นเส้นเดียวกันตลอด ปราศจากส่วนที่บิดงอ ต้องมีฉลากที่แข็งแรงระบุขนาด แบบ ประเภทน้ำหนักสุทธิ ความยาว ชั้นคุณภาพ หมายเลขการหลอม เครื่องหมายผู้ผลิตติดแน่นไว้ที่ขดลวดทุกขด ผิวลวดอัดแรงต้องไม่ทาด้วยน้ำมันลื่นหรือไขมันและไม่เป็นสนิมขุม
  - ลวดเกลียวอัดแรง (Seven-Wire Strand) ต้องเป็นชนิดที่ประกอบด้วยเส้นลวด ซึ่งมีเส้นหนึ่งเป็นแกนกลาง และอีก 6 เส้น พันร้อยเป็นเกลียวอย่างแนบแน่น ระยะเกลียวสม่ำเสมอยาวไม่น้อยกว่า 12 เท่าและไม่มากกว่า 16 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุขนาดของลวดเกลียวอัดแรง มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก. 420 - 2540 โดยระบุขนาดเป็นนิ้วหรือมิลลิเมตรทั้งมีฉลากที่แข็งแรงระบุน้ำหนักสุทธิ ขนาด ชั้นคุณภาพ หมายเลขขด หมายเลขการหลอม และชื่อเครื่องหมายผู้ผลิตติดแน่นไว้ที่ขดทุกขด ผิวของลวดเกลียวอัดแรงต้องไม่ทาน้ำมันลื่นหรือไขมันและไม่เป็นสนิมขุม

    ลวดเกลียวอัดแรงใช้งานคอนกรีตอัดแรงทั่วไปจะมี 2 ประเภท คือ

    1. ประเภทผ่อนคลายธรรมดา (Normal Relaxation Wire)
    2. ประเภทผ่อนคลายต่ำ (Low Relaxation Wire)

แต่ละประเภทแบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ (GRADE) คือ

1. ชั้นคุณภาพ 1725 (GRADE 250) มีแรงดึงประลัยไม่น้อยกว่า 1725 MPa.
2. ชั้นคุณภาพ 1860 (GRADE 270) มีแรงดึงประลัยไม่น้อยกว่า 1860 MPa.

- คอนกรีต

คอนกรีตที่ใช้ ต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตในสภาวะรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบไม่ต่ำกว่า 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือตามที่ผู้ออกแบบกำหนดโดยทดสอบจากแท่งคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน (Cylinder) คอนกรีตกำลังสูงจะมีผลโดยตรงต่อการคืนตัว การหดตัว การโก่งตัว การแอ่นตัวน้อยลงและแรงยึดเกาะระหว่างคอนกรีตกับลวดอัดแรง

- แท่นสมอยึดลวดอัดแรง

แท่นสมอยึดลวดอัดแรงติดตั้งอยู่ที่ปลายฐานหล่อคานทั้ง 2 ด้าน ประกอบด้วยแผ่นเหล็กหนาหรือเหล็ก I – BEAM เจาะรูสำหรับร้อยลวดอัดแรงตามตำแหน่งที่แบบ ทำหน้าที่ถ่ายแรงระหว่างลวดอัดแรงกับฐานหล่อคาน

รูปที่ 3 แท่นสมอ ยึดลวดอัดแรง

- แม่แรงลดแรงดึงลวด

งานหล่อคานคอนกรีตแบบอัดแรงก่อนเมื่อทำการตัดลวดอัดแรงขณะมีแรงดึงอยู่ทำให้ลวดสูญเสียแรงดึงและเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว ควรลดแรงดึงลวดอย่างช้าๆจนแรงดึงในลวดหมดไป โดยการติดตั้งแม่แรงลดแรงดึงลวด จากนั้นทำการตัดลวด การลดแรงดึงลวดโดยวิธีนี้ ลวดจะค่อยๆ ถ่ายแรงให้กับคานคอนกรีตอย่างช้าๆ

รูปที่ 4 แม่แรงลดแรงดึงลวด

- **อุปกรณ์ยึดจับลวดอัดแรง (Grip)**

อุปกรณ์ยึดจับลวดอัดแรงประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนนอกเป็นปลอกและส่วนในมีลักษณะเป็นลิ่มประกอบชิ้นเหล็ก2หรือ 3 ชิ้นมีลักษณะเป็นกรวย ตัวจับยึดที่ผิวด้านในมีลักษณะเป็นฟันไว้จับยึด ผิวด้านนอกมีลักษณะเป็นรูปกรวยมีแหวนยางยึดเพื่อให้ตัวฟันเคลื่อนเข้าออกพร้อมกัน

รูปที่ 5 อุปกรณ์ยึดจับลวดอัดแรง

- **เครื่องดึงลวดอัดแรงสูง**

ประกอบด้วย Hydraulic Jack เครื่อง Hydraulic Pump มาตรวัดแรงดัน (Pressure Gauge) เครื่องมือดังกล่าวต้องมีการทดสอบปรับเทียบกับมาตรวัดแรงดันมาตรฐานก่อนนำมาใช้งาน โดยต้องมีเอกสารรับรองการทดสอบปรับเทียบจากสถาบันที่เชื่อถือได้หรือหน่วยงานของรัฐ โดยทั่วไปมีระยะเวลาคลอบคลุม 6 เดือน

รูปที่ 6 เครื่องดึงลวดอัดแรง

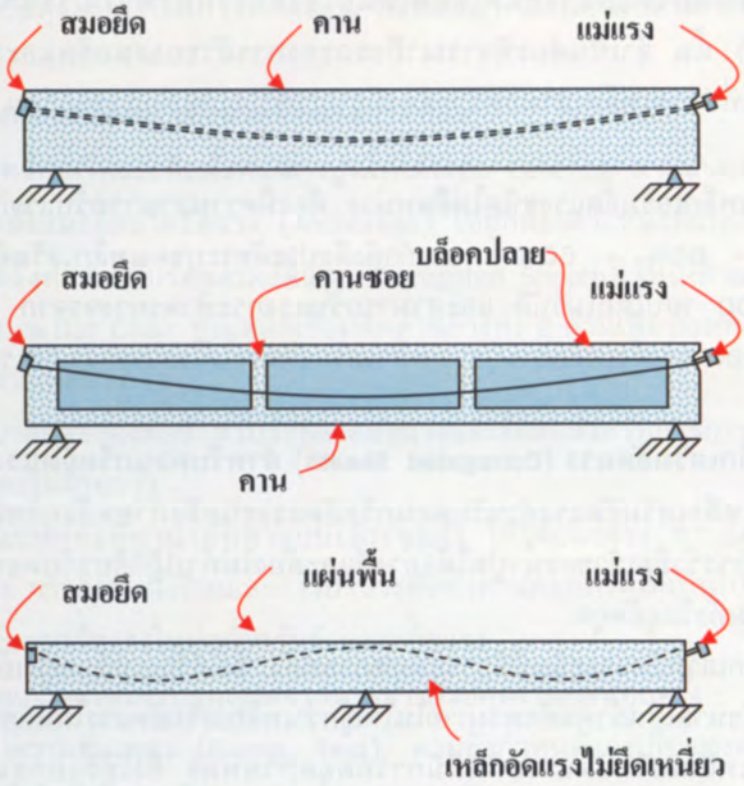
ขั้นตอนเตรียมงานหล่อคานคอนกรีตแบบดึงลวดอัดแรงก่อน

- ตรวจสอบแบบรายละเอียดของคานคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Girder)
- ตรวจสอบแนวและระดับฐานหล่อ (Bed)
- ตรวจสอบขนาด จำนวน ตำแหน่ง ระยะทาบ ระยะห่างของเหล็กเสริมและต้องสะอาดไม่เป็นสนิมขุม
- ตรวจสอบชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ความสะอาด ของลวดอัดแรง (Tendon) ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด
- ตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์การดึงลวดอัดแรง ต้องมีเอกสารรับรองการทดลองปรับเทียบและมีระยะเวลาครอบคลุมระหว่างการปฏิบัติงาน
- ตรวจสอบรายการคำนวณการดึงลวดอัดแรงและการยืดตัว Elongation ให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- ตรวจสอบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต (Concrete Mixed Design) และทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- ทำการร้อยลวดอัดแรง พร้อมใส่ท่อหุ้มลวดอัดแรง (Debond) ตามที่แบบกำหนด
- ประกอบเหล็กเสริมและติดตั้งหนุนลูกปูนให้ได้ระยะ Covering ตามแบบกำหนด

- ทำการดึงลวดอัดแรงทุกเส้นให้ตึง (Pre-Load) ตรวจสอบรอยแตกและตำแหน่งท่อหุ้มของลวดอัดแรงตลอดแนวทำเครื่องหมายไว้ จากนั้นดึงลวดอัดแรงตามค่าแรงดึงที่แบบกำหนด วัดระยะการยืดตัวตามที่กำหนดไว้ จดบันทึกการดึงลวดอัดแรงทุกเส้น
- ประกอบแบบหล่อที่ทาน้ำมันทาแบบไว้แล้ว และยึดค้ำยันให้แข็งแรง กรณีคานไม่วางอยู่ในระดับ ให้ทำการปรับคานและจุดรองรับให้เหมาะสม
- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากนายช่างควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ขณะเทคอนกรีตต้องตรวจสอบแบบหล่อว่าไม่มีการเคลื่อนตัว
- ตรวจสอบความข้นเหลวของคอนกรีต (Slump Test) ตามข้อกำหนดและเก็บแท่งคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อการทดสอบความสามารถรับแรงอัด
- ควบคุมการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Vibrator) อย่างถูกวิธี
- บันทึกวัน เดือน ปี หมายเลขลำดับการหล่อ ตำแหน่งติดตั้งของคานคอนกรีตอัดแรง เพื่อความถูกต้องการตรวจสอบงานขั้นตอนต่อไป
- ก่อนการตัดลวดอัดแรงต้องตรวจสอบผลความสามารถการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- ทำการปล่อยแรงดึงของแม่แรงลดแรงดึงย่างช้าๆ จนกระทั่งแรงดึงลวดอัดแรงหมดไป จากนั้นจึงทำการตัดลวดอัดแรง
- กรณีหล่อคานคอนกรีตอัดแรงในฐานหล่อมากกว่าหนึ่งคาน การตัดลวดอัดแรงให้ตัดลวดระหว่างคานคอนกรีตแต่ละคาน โดยให้ตัดสลับเส้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของคานคอนกรีตอัดแรง
- การตัดลวดอัดแรงที่บริเวณปลายคานให้ใช้เครื่องตัดชนิดแผ่นไฟเบอร์ ห้ามใช้ความร้อนในการตัดลวดอัดแรงที่ปลายคาน

2. การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง (Post-Tensioned)

การอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง หมายถึง การเทคอนกรีตในแบบหล่อก่อน จนคอนกรีตมีกำลังสูงเพียงพอจึงทำการอัดแรง เหมาะสำหรับโครงสร้างขนาดใหญ่ ไม่สะดวกในการขนส่ง



รูปที่ 7 แสดงวิธีอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง

ก่อนเริ่มงานก่อสร้างคานให้ดำเนินการตรวจสอบขนาดต่างๆ ความยาวคานที่จะใช้ ชนิดของคานเป็นแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง เพื่อจะได้เตรียมการดำเนินงานควบคุมการหล่อและการวางคานได้อย่างถูกวิธี

สำหรับคานแบบดึงลวดอัดแรงภายหลังนั้นส่วนมากจะมีขนาดใหญ่ การขนส่งค่อนข้างลำบาก การปฏิบัติงานจริงจึงต้องทำการหล่อที่หน้างานเป็นส่วนใหญ่

อุปกรณ์การอัดแรงและการก่อสร้าง

1. สมอยึดเหล็กเสริมอัดแรงและหัวต่อ (Coupler)

- สมอยึดสำหรับการอัดแรงชนิดยึดเหนี่ยว ต้องสามารถรับแรงได้ไม่น้อยกว่า 90 % ของกำลังประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรง โดยไม่มีการรูดกลับเกินกำหนดเมื่อทดสอบในสภาพไม่ยึดเหนี่ยว อย่างไรก็ตาม ภายหลังที่เหล็กเสริมอัดแรงยึดเหนี่ยวกับองค์อาคารแล้ว สมอยึดจะต้องรับแรงได้ไม่น้อยกว่า 100 % ของกำลังประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรง

- สมอยึดและหัวต่อสำหรับระบบอัดแรงชนิดไม่ยึดเหนี่ยวต้องสามารถรับแรงได้ไม่น้อยกว่า 95% ของกำลังประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรง โดยไม่มีการรูดกลับเกินกำหนด
- ตำแหน่งการวางหัวต่อ ต้องได้รับความเห็นชอบจากวิศวกร และต้องอยู่ภายในช่องซึ่งมีขนาดความยาวเพียงพอที่จะไม่ขัดขวางการเคลื่อนที่อันเกิดจากการดึงเหล็กเสริมอัดแรง
- ในงานคอนกรีตอัดแรงชนิดไม่ยึดเหนี่ยวซึ่งต้องรับน้ำหนักบรรทุกซ้ำซาก (Repeated loading) นั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงผลของการล้าของสมอยึดและหัวต่อสมอยึด และอุปกรณ์ที่ปลายเหล็กเสริมอัดแรงต้องมีอุปกรณ์ป้องกันต่อการผุกร่อน (Corrosion) อย่างถาวร
- สมอยึดเหล็กเสริมอัดแรงชนิดไม่ยึดหน่วง ต้องมีความสามารถรับแรงกระทำครบวงจรจาก 60% - 66% - 60% ของกำลังดึงประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรงได้ไม่น้อยกว่า 500,000 รอบโดยไม่วิบัติ และสามารถรับแรงกระทำครบวงจรจาก 40% - 80% - 40% ของกำลังดึงประลัยระบุของเหล็กเสริมอัดแรงได้ไม่น้อยกว่า 50 รอบโดยไม่วิบัติ

2. ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง (Corrugated Sheath) สำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงภายหลัง

- ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงสำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงภายหลังทุกชนิด จะต้องสามารถป้องกันการรั่วซึมเข้าของน้ำปูนได้อย่างดีและต้องไม่ทำปฏิกิริยากับคอนกรีตเหล็กเสริมอัดแรง รวมทั้งวัสดุอัดอุด
- ร้อยเหล็กเสริมอัดแรงชนิดที่มีการอัดอุดภายหลัง ซึ่งใช้ร้อยเหล็กเสริมอัดแรงเพียงเส้นเดียว จะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในใหญ่กว่าเหล็กเสริมอัดแรงไม่น้อยกว่า 6 มม.
- ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงชนิดที่มีการอัดอุดภายหลัง ซึ่งใช้ร้อยกลุ่มเหล็กเสริมอัดแรง จะต้องมีพื้นที่หน้าตัดภายในไม่น้อยกว่า 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดสุทธิของกลุ่มเหล็กเสริมอัดแรง

ขั้นตอนเตรียมการหล่อคานคอนกรีตแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง

- ตรวจสอบแบบและรายละเอียดของคานคอนกรีต
- ตรวจสอบแนว ระดับ ความแข็งแรงของฐานหล่อ
- ตรวจสอบการติดตั้งสมอยึดลวดเหล็กอัดแรง (Anchorage) ให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนดของผู้ผลิต
- ตรวจสอบการติดตั้งท่อร้อยลวดเหล็กอัดแรง (Corrugated Sheath) และระดับเป็นไปตามแบบและข้อกำหนด ท่อร้อยกลุ่มลวดเหล็กอัดแรงต้องมีพื้นที่หน้าตัดภายในไม่น้อยกว่า 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดสุทธิของกลุ่มลวดเหล็กอัดแรง
- ตรวจสอบ ชนิด ขนาด จำนวน ตำแหน่ง ความสะอาด ของลวดอัดแรง ตามแบบกำหนด
- ตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์การดึงลวดเหล็กอัดแรงต้องมีการ Calibration และใบรับรองครอบคลุมระหว่างปฏิบัติงาน

- ตรวจสอบรายการคำนวณการดึงลวดเหล็กอัดแรงและคำนวณค่า Elongation เพื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดึงตามแบบกำหนด
- ตรวจสอบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต (Concrete Mixed Design) และทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง เป็นไปตามแบบกำหนด
- ตรวจสอบวัสดุและอุปกรณ์การอัดน้ำปูน (Grouting) ต้องเป็นไปตามกรรมวิธีที่ถูกต้อง

ขั้นตอนการหล่อคานคอนกรีตแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง

- ประกอบเหล็กเสริมและติดตั้งหนุนลูกปูนให้ได้ระยะ Covering ตามแบบกำหนด
- ทำการติดตั้งสมอยึดลวดอัดแรง (Anchorage) ให้ถูกต้องตำแหน่งที่แบบกำหนด
- ทำการติดตั้งท่อสำหรับร้อยลวดอัดแรง (Corrugated Sheath) ให้ได้ตำแหน่งตามแบบกำหนด โดยติดตั้งบน Bar Chair ที่มีเหล็กเชื่อมติดด้านข้างทั้ง 2 ด้านเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวไปด้านหลังจากการเทคอนกรีต
- ตรวจสอบรอยต่อของท่อสำหรับร้อยลวดอัดแรงและข้อต่อสำหรับการการอัดน้ำปูน ต้องมั่นคงแข็งแรงและไม่มีรอยรั่ว
- ประกอบแบบหล่อที่ทาน้ำมันทาแบบไว้ก่อนแล้ว ให้ได้แนวตรง การยึดและค้ำยันต้องมั่นคงแข็งแรงพอ การติดตั้งนั่งร้านและการปรับระดับหัวคานคอนกรีตให้เป็นไปตามแบบที่กำหนด
- ทำการร้อยลวดอัดแรงในท่อสำหรับร้อยลวดอัดแรง
- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากนายช่างควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ตามข้อกำหนดและเก็บแท่งคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อการทดสอบกำลังรับแรงอัด
- การใช้อุปกรณ์ที่ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Vibrator) ไม่ให้ทำความเสียหายท่อร้อยลวดอัดแรง ภายหลังการเทคอนกรีตแล้วเสร็จประมาณ 2 ชั่วโมง ควรทดสอบการรั่วของท่อร้อยลอดอัดแรง โดยการขยับลวดอัดแรง
- ตรวจสอบผลการรับแรงอัดแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนดก่อนการดึงลวดอัดแรง
- ทำการติดตั้งอุปกรณ์ยึดจับลวดอัดแรง ดึงลวดอัดแรงและคำนวณค่าการยืดตัวตามแบบกำหนด
- ทำการตัดลวดอัดแรงและติดตั้งฝาเหล็กครอบปิดสมอยึดเพื่อดำเนินการอัดน้ำปูนต่อไป

ขั้นตอนการอัดน้ำปูน (Grouting)

- ทำความสะอาดภายในท่อร้อยลวดอัดแรง โดยทำการอัดน้ำสะอาด เพื่อตรวจสอบการอุดตันภายในท่อร้อยลวด
- น้ำปูนต้องผสมในเครื่องผสมที่กวนส่วนผสมน้ำปูนได้อย่างต่อเนื่อง
- อัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์ไม่เกิน 0.45 โดยทั่วไปใช้ปูนซีเมนต์ 50 กิโลกรัม ต่อน้ำประมาณ17 ลิตร น้ำควรมีอุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซนเซียส

- ตรวจสอบความข้นเหลวของน้ำปูน (Viscosity) โดยใช้กรวยมาตรฐาน การไหลต้องไม่เกิน 13 วินาที และอุณหภูมิของน้ำปูนที่ไหลออกที่ปลายท่อต้องไม่เกิน 32 องศาเซลเซียส
- ควรใส่สารผสมเพิ่มเพื่อการขยายตัวของน้ำปูน โดยทั่วไปใช้สาร Aluminum Powder ในปริมาณ 100 กรัม ต่อปูนซีเมนต์ 50 กิโลกรัม
- เครื่องอัดน้ำปูนต้องมีกำลังแรงดันไม่น้อยกว่า 5 BAR
- ต้องเก็บแท่งตัวอย่างน้ำปูนที่ไหลออกปลายท่อร้อยลวดเหล็กเพื่อทดสอบการรับกำลังอัด การขยายตัวและ Bleeding

การติดตั้งท่อร้อยลวดอัดแรงคานคอนกรีตแบบดึงลวดอัดแรงภายหลัง

เทคอนกรีตด้วย Concrete Pump

การดึงลวดอัดแรงในบริเวณหน้างาน

การควบคุมการวางคาน

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

การป้องกันการผุกร่อนของเหล็กเสริมอัดแรงชนิดไร้การยึดเหนี่ยว

เหล็กเสริมอัดแรงชนิดไร้การยึดเหนี่ยว จะต้องเคลือบผิวด้วยสารป้องกันการผุกร่อนอย่างทั่วถึง ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- มีเสถียรภาพทางเคมี และไม่ทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมอัดแรง ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง คอนกรีต
- มีความคงตัว ไม่เยิ้มไหลหรือแข็งตัวภายใต้อุณหภูมิใช้งาน
- ป้องกันการผุกร่อนของเหล็กเสริมอัดแรงอย่างได้ผลตลอดระยะเวลาใช้งาน
- ลดความเสียดทานระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงกับท่อร้อย

การอัดน้ำปูน (Grouting) ของงานคอนกรีตอัดแรงชนิดยึดเหนี่ยว

วัสดุที่ใช้ในการอัดอุด ควรเป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และน้ำ หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายและน้ำ วัสดุต่างๆซึ่งใช้ในการอัดน้ำปูน จะต้องได้เกณฑ์ตามนี้

- ปูนซีเมนต์ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก.15
- น้ำที่ใช้ต้องสะอาด ปราศจากสิ่งซึ่งอาจมีผลกระทบต่อคอนกรีต และเหล็กเสริมอัดแรง
- หากใช้ทรายเป็นส่วนผสมด้วย ต้องใช้ทรายที่เป็นไปตามมาตรฐานสำหรับงานก่อหรืองานฉาบ ตามมาตรฐาน ASTM C 144 หรือเทียบเท่า ยกเว้นส่วนคละอาจเปลี่ยนแปลงได้ไม่มีอันตรายต่อเหล็กเสริมอัดแรง
- สารผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม ในกรณีที่ยังไม่ประกาศใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม ให้ใช้มาตรฐาน ASTM C 494 และต้องไม่มีอันตรายต่อเหล็กเสริมอัดแรง

การเลือกส่วนผสมน้ำปูน

(ก) อัตราส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ จะต้องได้มาจากวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้
   - ผลการทดสอบน้ำปูนอัด ทั้งในสภาพที่ยังสดอยู่ และแข็งตัวแล้วก่อนการทำงานจริง
   - เอกสารอ้างอิงในเชิงเทคนิคสำหรับลักษณะของวัสดุต่างๆ ตลอดจนอุปกรณ์ที่คล้ายคลึงกันในสภาพที่เทียบเคียงกันได้

(ข) ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม ควรจะน้อยที่สุดเท่าที่จะทำให้การอัดน้ำปูนเป็นไปด้วยดี โดยที่อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักจะต้องไม่เกิน 0.45

(ค) ห้ามเติมน้ำภายหลังเพื่อเพิ่มความเหลวของน้ำปูนอัด ซึ่งลดลงเนื่องมาจากความล่าช้าในการใช้งาน

การผสมและการอัดน้ำปูน

(ก) น้ำปูนอัดต้องผสมในเครื่องซึ่งสามารถทำงานและกวนได้อย่างต่อเนื่องและสามารถก่อให้เกิดการผสมตัวกันของวัสดุต่างๆได้อย่างสม่ำเสมอ น้ำปูนอัดจะต้องมีการกรองผ่านตะแกรง และต้องอัดให้เต็มช่องว่างในท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงได้อย่างสมบูรณ์

(ข) อุณหภูมิขององค์อาคาร ต้องสูงกว่าจุดเยือกแข็งในขณะทำการอัดน้ำปูน และจะต้องรักษาอุณหภูมิให้สูงกว่าจุดเยือกแข็งจนกระทั่ง ตัวอย่าง รูปลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. ของน้ำปูนอัดซึ่งบ่มในสภาพมีกำลังอัดเกิน 55 กก./ตร.ซม.

(ค) หากองค์อาคาร หรือชิ้นส่วนโครงสร้าง ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งก่อนการอัดน้ำปูน จะต้องไม่มีน้ำอยู่ภายในท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง

(ง) ก่อนการอัดน้ำปูน ต้องตรวจสอบการรั่วไหลและทำการแก้ไข (ถ้ามี)

(จ) อุณหภูมิของน้ำปูนอัด เมื่อไหลออกจากเครื่องอัดจะต้องไม่สูงกว่า 32 องศาเซลเซียส

การอัดแรงและการวัดขนาดของแรงอัด

- ขนาดของแรงอัด จะต้องวัดทั้งสองวิธีดังนี้
  (ก) อ่านขนาดของแรงอัดจากมาตรวัดซึ่งปรับเทียบ (Calibrate) แล้ว หรือจากเซลเทียบน้ำหนัก (Load cell) หรือโดยการใช้ไดนาโมมิเตอร์
  (ข) วัดระยะยืดของเหล็กเสริมอัดแรง แล้วหาขนาดของแรงจากเส้นแสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของแรงกับระยะยืดของเหล็กเสริมอัดแรง หากขนาดของแรงที่ได้จากวิธีทั้งสองแตกต่างกันเกินกว่า 5% ต้องทำการตรวจสอบและแก้ไข
- สำหรับงานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงก่อน (Pre-Tension) นั้น การถ่ายแรงจากแท่นดึงสู่คอนกรีต กระทำโดยวิธีการตัดเหล็กเสริมอัดแรงที่ละเส้น จุดตัดและลำดับการตัด จะต้องพิจารณาให้ดี เพื่อหลีกเลี่ยงหน่วยแรงชั่วคราวที่ไม่พึงประสงค์
- เหล็กเสริมอัดแรงสำหรับงานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงก่อน ต้องทำการตัดเหล็กเสริมอัดแรงให้ใกล้กับชิ้นส่วน เพื่อลดแรงกระแทกที่อาจเกิดขึ้นกับเนื้อคอนกรีต
- การสูญหายของแรงอัด อันเนื่องมาจากการมิได้ทดสอบเหล็กเสริมอัดแรงซึ่งดึงขาดไป จะมีไม่เกิน 2 % ของแรงอัดทั้งหมดของส่วนองค์อาคารที่พิจารณา ทั้งนี้ต้องไม่ให้เกินความวิบัติเฉพาะจุด (Load failure) ในองค์อาคาร

การจัดวางเหล็กเสริมอัดแรง

- เหล็กเสริมในงานคอนกรีตอัดแรง ทั้งชนิดเหล็กเสริมอัดแรงและเหล็กเสริมธรรมดา รวมทั้งท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง จะต้องวางในตำแหน่งที่ถูกต้องตามที่กำหนดในแบบ และมีการจับยึด หรือรองรับอย่างมั่นคงทั้งก่อนและระหว่างการเทคอนกรีต ความคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่กำหนดในแบบให้เป็นไปตามรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

- ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของระยะจากผิวนอกสุดด้านที่เป็นแรงอัดถึงศูนย์กลางของเหล็กเสริมอัดแรงให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของการวางเหล็กเสริมอัดแรง

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

ระยะห่างของการจัดเหล็กเสริมอัดแรงและท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง

- ในงานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อน ระยะห่างสุทธิระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงที่ปลายของชิ้นส่วนจะต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางระบุสำหรับลวดเหล็กอัดแรง หรือ 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางระบุสำหรับลวดเกลียวอัดแรง แต่ทั้งนั้น ระยะห่างสุทธิดังกล่าวต้องไม่น้อยกว่า 3/4 เท่าของขนาดมวลรวมหยาบที่ใหญ่ที่สุด ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมที่น้อยกว่านี้ หรือการรวมกลุ่มของเหล็กเสริมอัดแรง อาจยอมให้กระทำได้ในส่วนที่อยู่ใกล้กึ่งกลางช่วงความยาว
- ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงสำหรับงานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กภายหลัง อาจรวมกลุ่มกันได้ถ้าสามารถแสดงให้เห็นว่า การเทคอนกรีตสามารถกระทำได้อย่างดี และมีการป้องกันมิให้เหล็กเสริมอัดแรงที่ถูกดึงแล้วแตกทะลุท่อร้อยออกมาได้

ระยะคอนกรีตหุ้ม

- ระยะคอนกรีตหุ้มที่น้อยที่สุดสำหรับเหล็กเสริมธรรมดา เหล็กเสริมอัดแรง ท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง และอุปกรณ์ยึดเหล็กเสริมในงานคอนกรีตอัดแรงเป็นดังนี้ (ยกเว้นที่ระบุไว้ในข้อถัดไป)

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

- สำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงซึ่งสัมผัสกับดิน บรรยากาศภายนอก หรือสภาพแวดล้อมที่รุนแรงและใช้หน่วยแรงดึงที่ยอมให้มากเกินกว่า $1.59\sqrt{f_c}$ และระยะคอนกรีตหุ้มที่น้อยที่สุดจะต้องเพิ่มขึ้นจากข้อด้านบนอีกร้อยละ 50

สรุป

คานคอนกรีตอัดแรงเป็นโครงสร้างที่สำคัญที่ใช้ในการรับแรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักตัวเอง น้ำหนักบรรทุก และน้ำหนักอื่นๆ คุณภาพของคานมีความสำคัญมากเพราะคานมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ถ้าออกแบบดี อาจมีอายุได้ถึง 100 ปี ซึ่งผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับคอนกรีตอัดแรงต้องมีความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้อง จึงจะสามารถปฏิบัติได้บรรลุเป้าหมาย

บรรณานุกรม

1. ดร.ต่อกุล กาญจนาลัย; การออกแบบคอนกรีตอัดแรง, หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซนเตอร์ , 2528 หน้า 198 - 200
2. สนั่น เจริญเผ่า , วินิต ช่อวิเชียร , การออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก, พิมพ์ครั้งที่ 7, หจก. ป.สัมพันธ์พานิช , 2530
3. สนั่น เจริญเผ่า, วินิต ช่อวิเชียร, คอนกรีตเสริมเหล็ก, พิมพ์ครั้งที่ 8 , หจก. ป.สัมพันธ์พานิช
4. Bowles , J.E. , Foundation Analysis and Design, Fourth Edition , Mc Graw – Hill Book Company , 1988 , P.409.
5. Frank , A.Jr., Differential and Integrall Calculus, Second Edition , 1972 , P.143 , P.247.
6. Timoshenko , S.P. , and Gere , J.M., Theory of Elastic Stability, Second Edition, Mc Graw–Hill Book Company, 1986, P.P. 6-10 , P.P. 46-53 , P.P. 94 – 98.

การติดตั้งคานคอนกรีตอัดแรง (Installation of PC Girder)

ตรวจสอบฐานรองรับรถยก (Mobile Crane)

ตรวจสอบฐานรองรับรถยก (Mobile Crane)

การจัดตำแหน่งรถยก

การจัดตำแหน่งรถยก

การเคลื่อนคานให้ตรงตำแหน่ง

การหิ้วคาน เพื่อใส่ Epoxy

การติดตั้งแผ่นไม้สูงกว่าแผ่นยางประมาณ 1 ซม.

การติดตั้งแผ่นไม้รองรับคาน

ชุดการผสมสาร Epoxy

ผสมน้ำยาสองส่วนเข้าด้วยกัน

เติมทรายที่มาพร้อมกับชุด Epoxy

Epoxy Mortar ที่ผสมแล้วเสร็จ

ใส่ Epoxy Mortar ให้สูงกว่าแผ่นไม้เล็กน้อย

ตรวจสอบระยะห่างปลายคานกับ Deck
ให้เท่ากันทั้งสองปลาย

ตรวจสอบระยะห่างด้านล่างของขอบคานกับ Deck

ตรวจสอบแนวดิ่งด้านข้างคาน

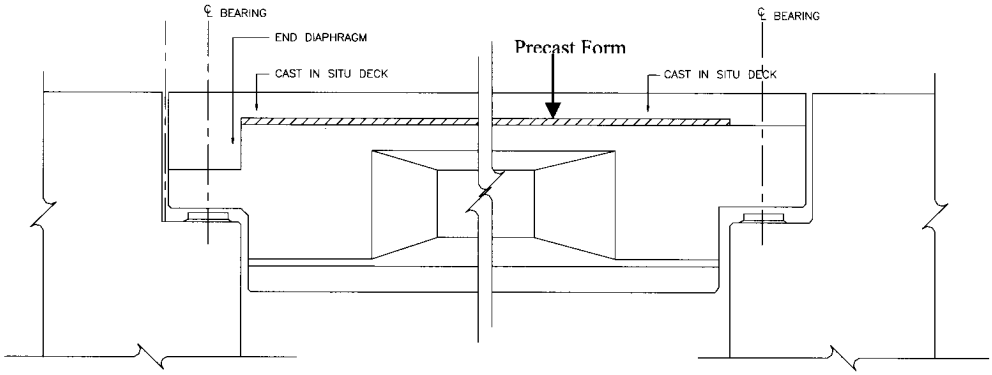
วางคานบนแผ่นไม้แล้ว
แต่ง Epoxy Mortar โดยรอบแผ่นยาง

ตอกลิ่มไม้ยึดปลายคานไว้ทั้งสองปลาย

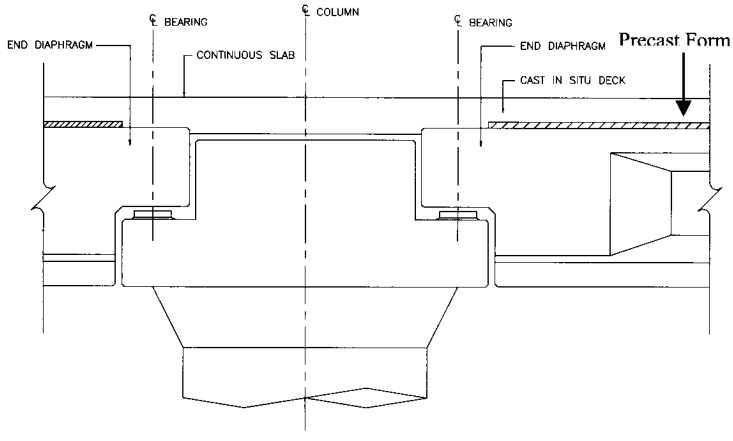
งานพื้นสะพาน (Deck Slab)

บทนำ

พื้นสะพานเป็นส่วนของโครงสร้างที่รับน้ำหนักบรรทุกโดยตรงที่กระทำต่อสะพาน จำแนกชนิดและรูปแบบต่างๆ กันออกไป ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและรูปแบบของโครงสร้างของสะพานนั้นๆ ที่จะกล่าวต่อไปนี้คือพื้นสะพานที่ก่อสร้างบนคานคอนกรีตอัดแรงที่เรียกว่า Deck Slab ซึ่งมักเป็นพื้นคอนกรีตบนคานคอนกรีตอัดแรง เช่น พื้นชนิดต่อเนื่องกัน (Continuous Deck Slab or Link Slab) และเป็นพื้นช่วงเดียว เรียกว่า Simple Deck Slab



Simple Deck Slab



Continuous Deck Slab or Link Slab

รูปที่ 1 แสดงชนิดพื้น Simple Deck Slab และ Continuous Deck Slab or Link Slab

ข้อมูลเบื้องต้น

- ลักษณะพื้นสะพานช่วงเดียว หรือต่อเนื่อง
- ความหนา
- รายละเอียดการเสริมเหล็ก
- ค่าระดับ
- ลักษณะ Expansion Joint
- การปูทับด้วย Asphaltic Concrete

เครื่องมือและอุปกรณ์

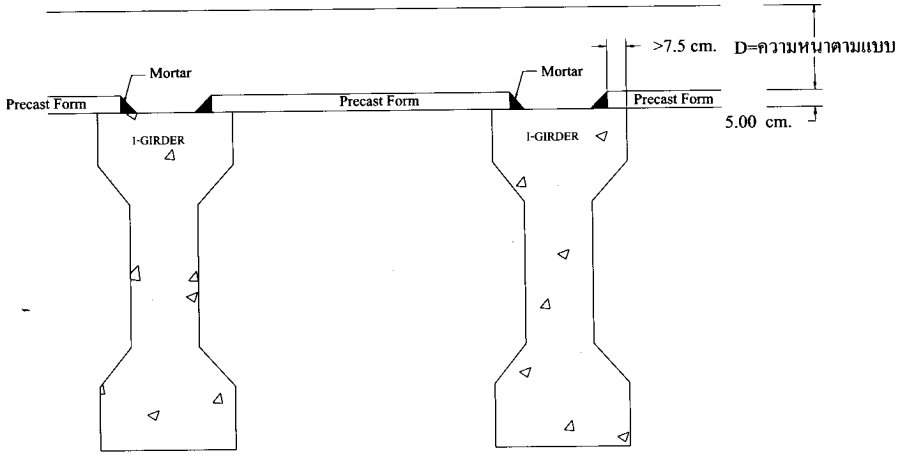
- รถเครนพร้อม Bucket หรือรถคอนกรีตปั๊ม
- เครื่องจี้คอนกรีตพร้อมสาย
- ไม้สามเหลี่ยม
- เกรียงแต่งหน้าปูน
- รถเข็นปูน
- อุปกรณ์ปรับระดับในระหว่างการเทคอนกรีต

ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

1. การเตรียมแบบหล่อพื้นสะพาน ที่นิยมใช้มี 2 ลักษณะ คือ

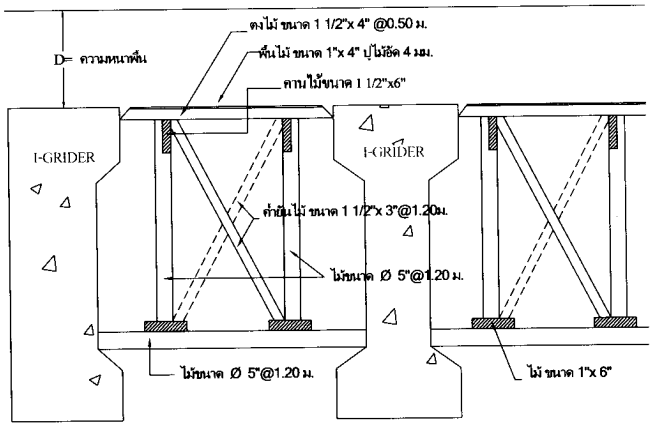
1.1 แบบหล่อโดยใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูป (Precast Form) ปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้เพราะทำงานสะดวก ลดเวลาและขั้นตอนการทำงาน มีหลักการสำคัญในการตรวจสอบและปฏิบัติ ดังนี้

- ตรวจสอบขนาดแผ่นพื้นสำเร็จให้ถูกต้อง ไม่มีรอยแตกหักและต้องมีรายการคำนวณการรับน้ำหนักของ Precast Form ที่นำมาใช้ สำหรับงานก่อสร้างสะพานในปัจจุบันกำลังรับน้ำหนักของ Precast Form ที่เป็นแบบหล่อต้องไม่น้อยกว่า 750 kg./m^2 ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ ให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างกำหนด
- ตรวจสอบทิศทางและตำแหน่งการวาง Precast Form ปลายของ Precast Form จะต้องวางอยู่บนที่รองรับหลังคาน โดยให้เกยเข้ามาไม่น้อยกว่า 7.5 cm.
- อุดรอยต่อระหว่าง Precast Form โดยใช้ Mortar อุดปิดทับรอยต่อก่อนที่จะทำการหล่อคอนกรีตพื้นสะพานตามแบบ
- ตรวจสอบระดับการติดตั้งโดยให้มีระดับความหนาของพื้นคอนกรีตที่หล่อทับบน Precast Form ตามแบบ



รูปที่ 2 แบบหล่อพื้นสะพานโดยใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูป (Precast Form)

1.2 แบบหล่อพื้นสะพานนั่งร้านไม้ ลักษณะการก่อสร้างใช้ไม้เสากลมขนาด ϕ5″ วางพาดระหว่างปีกล่างคานคอนกรีตอัดแรงแล้วใช้ไม้ขนาด 1″x6″ ปูทับเพื่อรองรับเสาไม้ขนาด ϕ5″ รองรับคานไม้ขนาด 1½″ x 6″ และใช้ไม้ขนาด 1½″ x 3″ ค้ำยันทะแยงเพื่อกันการเคลื่อนตัว แล้วใช้ตงไม้ขนาด 1½″ x 4″ รองรับพื้นไม้ขนาด 1″ x 4″ และใช้ไม้อัดขนาด 4 มม. ปูให้ผิวท้องพื้นเรียบตามแบบกำหนด ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 แบบหล่อพื้นสะพานโดยใช้นั่งร้านไม้

2. การจัดวางเหล็กเสริมพื้นคอนกรีต การเสริมเหล็กเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งมีขั้นตอนการตรวจสอบ ดังนี้

2.1 ตรวจสอบการจัดวางเหล็กเสริมหลัก จำนวน ขนาดความยาวและตำแหน่งการเสริมถูกตำแหน่งและทิศทางที่แบบกำหนดหรือไม่

2.2 ตรวจสอบเหล็กเสริมพิเศษ บนหลังคาน หรือจุดรับกำลังอื่นๆ ตามแบบกำหนด

2.3 ตรวจสอบระยะ Covering ระหว่างเหล็กกับผิวคอนกรีตทั้งด้านล่างและด้านบนให้ถูกต้องตามแบบกำหนด

3. ก่อนการเทคอนกรีต

- ตรวจสอบการลดระดับของบ่ารับคานบริเวณตอม่อที่เผื่อไว้สำหรับการโก่งสูงสุดของคานบริเวณกึ่งกลางคานที่เกิดจากการอัดแรง (Camber) และ หลังจากรับน้ำหนักบรรทุก (Dead load) จากการปูทับด้วยแผ่น Precast Form และน้ำหนักพื้นคอนกรีตเพื่อให้การเทคอนกรีตแล้วให้ได้ระดับถูกต้องตามแบบ รวมทั้งการคำนวณค่าระดับตามลักษณะพื้นผิวสะพานว่าเป็นลักษณะโค้งคว่ำทางดิ่ง (Crest Vertical Curve) หรือลักษณะโค้งหงายทางดิ่ง (Sag Vertical Curve) เพื่อให้ความหนาของพื้นสะพานที่กึ่งกลาง Span ได้ความหนาตามแบบ (Minimum Thickness) โดยใช้เหล็กระดับที่แข็งแรงพอเป็นระดับอ้างอิงที่ใช้เป็นระดับของพื้นผิวคอนกรีต (ส่วนใหญ่ใช้ท่อเหล็กแป๊ป) แล้วใช้จัดวางเหล็กระดับด้วยระยะห่าง (Spacing) ให้เหมาะสมและไม่ให้ระยะเกินกว่าความสามารถของคนงานที่ใช้ไม้สามเหลี่ยมปาดแต่งระดับโดยการติดตั้งขาหยั่ง (Bar Chair) รองรับเหล็กระดับให้มั่นคง และติดตั้งตามจำนวนที่เหมาะสม

4. ขั้นตอนการเทคอนกรีต

- เทคอนกรีตในแนวตั้งฉากหรือขนานกับ Traffic Direction จากส่วนล่างไปหาส่วนบนที่ระดับเหนือกว่าและในขณะเดียวกันเริ่มจาก Grade ต่ำไปหา Grade ที่สูงกว่า ให้พิจารณาถึงช่วง Span และความกว้างที่เหมาะสมและชนิดของพื้นสะพานด้วย
- ตรวจสอบคอนกรีตที่จะเทบริเวณเดียวกันนั้นให้มีความข้นเหลว(Slump)คงที่เหมือนกัน
- ควบคุมการจี้คอนกรีตให้ถูกวิธีตามมาตรฐานและห้ามจี้คอนกรีตที่เริ่มก่อตัวแล้ว
- ให้ใช้อุปกรณ์ปรับ ระดับคอนกรีตที่เทให้เป็นไปตามระดับที่ให้ไว้
- ตรวจสอบระดับในระหว่างการเทคอนกรีตตลอดเวลาการเทคอนกรีต

5. หลังการเทคอนกรีต

- ควบคุมการปาดแต่งระดับโดยให้ใช้อุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเพียงพอที่จะกดปาดแต่งระดับได้ เช่น ไม้สามเหลี่ยม ขนาดประมาณ 1.5 – 2.0 เมตร การปาดแต่งระดับต้องให้ระดับที่ปาดแต่งพอดีกับระดับของเหล็กระดับที่วางไว้ถ้าต่ำไปให้เสริมคอนกรีตเพิ่มเข้าไป ถ้าสูงไปให้พยายามกดแล้วปาดคอนกรีตออกก่อนที่จะปาดแต่งระดับอีกครั้งหนึ่ง
- การขัดแต่งผิวหน้าให้กระทำเมื่อคอนกรีตก่อตัวไปแล้วพอสมควรแต่บริเวณผิวหน้าต้องไม่แห้งถึงขั้นที่ขัดแต่งไม่ได้ สังเกตได้จากยังมีส่วนที่เป็นน้ำจากคอนกรีตอยู่บริเวณผิว
- การขีดเส้นแต่งผิวหน้าให้รีบกระทำหลังจากขัดแต่งผิวหน้าก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว
- การบ่มคอนกรีตต้องให้สม่ำเสมอทั่วถึงกันตลอดพื้นที่ที่เทคอนกรีตเสร็จ
- การถอดแบบและค้ำยันแบบให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตได้อายุมากพอหรือตามที่กำหนดไว้เท่านั้น

- การตรวจสอบระดับพื้นสะพานที่เทเสร็จแล้วอีกครั้งหนึ่งเพื่อดูว่าการเผื่อระดับไว้ก่อนเทคอนกรีตนั้นถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องให้ปรับเพิ่ม-ลด ตามความเหมาะสมเพื่อให้ระดับพื้นหลังก่อสร้างเสร็จเป็นไปตามแบบ

รูปภาพแสดงการจัดวางคานก่อนการติดตั้งแบบพื้นสะพาน

รูปภาพแสดงการจัดวางเหล็กระดับตามแนวทิศทางจราจร

รูปภาพขณะเทคอนกรีตพื้นสะพาน

รูปภาพพื้นสะพานที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ

เหล็กเสริม Seismic Buffer ใน Crosshead

แบบหล่อ Seismic Buffer

Seismic Buffer ช่วงกลาง

เทคอนกรีต Seismic Buffer ที่ริมคาน

Seismic Buffer ที่ริมคานทั้งสองด้าน

เหล็กเสริม Intermediate Diaphragm

เหล็กเสริม Intermediate Diaphragm

แบบหล่อ Intermediate Diaphragm

Intermediate Diaphragm

ปูท้องแบบ End Diaphragm

เสริมเหล็ก End Diaphragm

ติดตั้งโฟมกั้นระหว่าง End Diaphragm กับ Crosshead

End Diaphragm

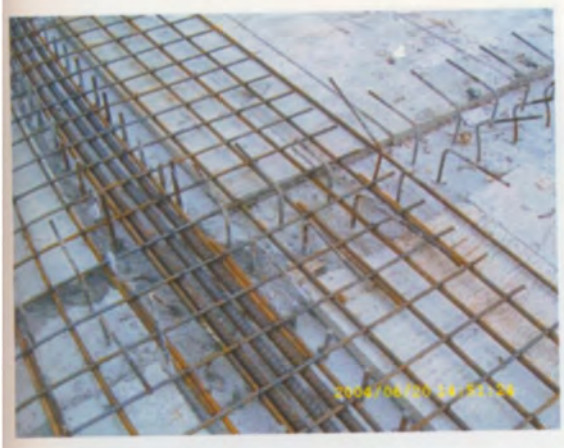
End Diaphragm และ Crosshead

การติดตั้งค้ำยันด้านข้างของคานตัวนอก

ปูแบบ Precast Concrete Slab

จัดเตรียมท่อระบายน้ำที่จะติดตั้ง

ปูท้องแบบบนค้ำยัน และเจาะช่องติดตั้งท่อระบายน้ำ



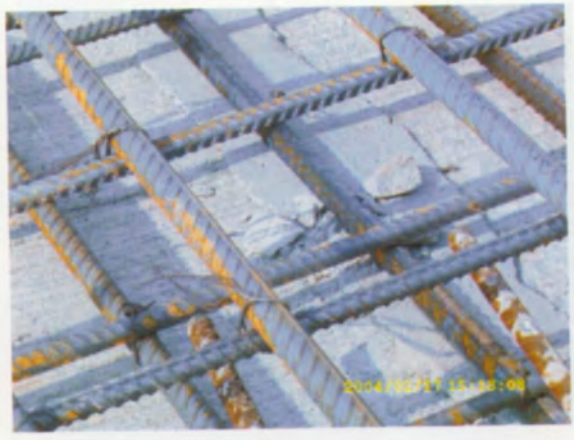
เสริมเหล็กล่าง และที่ Diaphragm

เสริมเหล็กล่าง และที่ Crosshead

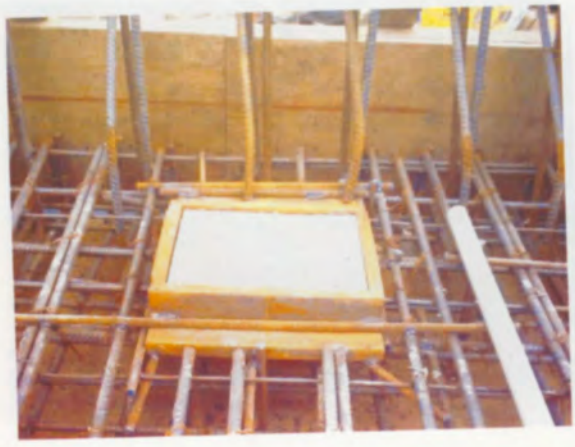
เสริมเหล็กบนยึดด้วย Bar Chair

เหล็กเสริมขอบทางและราวสะพาน

เสริมเหล็กในทางโค้ง



ตรวจสอบระยะ Covering ของเหล็กล่าง



ติดตั้งแบบกั้นตำแหน่งท่อระบายน้ำ

ติดตั้งท่อระบายน้ำ

ติดตั้งเหล็กฉากจุดที่หยุดเทคอนกรีต

ติดตั้งตะแกรงกั้นคอนกรีต

ติดตั้งท่อร้อยสายไฟฟ้าแสงสว่าง

ตรวจสอบระยะ Covering และความหนาพื้น

ติดตั้งรอยต่อพื้นสะพาน (Expansion Joint)

ติดตั้งขาวางเหล็กระดับสำหรับการเทคอนกรีต

กำหนดค่าระดับ

การติดตั้งเหล็กระดับในทางโค้ง

การเทคอนกรีตด้วย Bucket

การจี้คอนกรีต และเกลี่ยปรับระดับ

ตกแต่งผิวหน้าคอนกรีต

เครื่องปั่นผิวหน้าคอนกรีต

การทำผิวหน้าคอนกรีตตามแบบ

แต่งคอนกรีตรอบตำแหน่งท่อระบายน้ำ และนำแบบออก

การบ่มคอนกรีต ด้วยน้ำยา

การร้อยท่อสายไฟฟ้าแสงสว่างที่ราวสะพาน

การบ่มคอนกรีตที่รอยต่อพื้นสะพาน

ตรวจสอบการไหลของน้ำบนผิวคอนกรีต

รอยต่อพื้นสะพาน (Expansion Joint)

บทนำ

รอยต่อพื้นสะพานเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาออกแบบให้มีความเหมาะสมกับโครงสร้างพื้นสะพานแต่ละประเภท การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้เกิดการยืดและหดตัวของพื้นสะพาน ซึ่งการยืดตัวและหดตัวมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาก่อสร้างพื้นสะพาน และความยาวช่วงของพื้นสะพานรวมทั้งลักษณะพื้นสะพานที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ ในอดีตสะพานช่วงสั้นๆ ได้เว้นช่องว่างระหว่างรอยต่อพื้นสะพานเพื่อให้พื้นสะพานยืดหรือหดตัวได้โดยไม่ได้ใช้อุปกรณ์ใดติดตั้งที่รอยต่อพื้นสะพาน หรือในกรณีพื้นสะพานที่มีความยาวช่วงมากขึ้นมักใช้แผ่นเหล็กหรือเหล็กฉากติดตั้งไว้ที่รอยต่อพื้นสะพาน แต่ยังไม่มีการป้องกันน้ำไหลผ่านรอยต่อนั้น ข้อเสียของรอยต่อพื้นสะพานแบบเหล็กฉากคือ ชำรุดและหลุดได้ง่าย ทำให้เกิดเสียงดังเมื่อรถแล่นผ่าน เป็นภาระต้องบำรุงรักษาซ่อมแซม

ปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบและวัสดุเพื่อติดตั้งที่รอยต่อพื้นสะพาน ผลิตสำเร็จรูปจากโรงงานเป็นหลายรูปแบบ สามารถพิจารณาเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับขนาดความกว้างของรอยต่อพื้นสะพาน และได้ออกแบบโดยใช้แผ่นยางสังเคราะห์เป็นส่วนประกอบป้องกันน้ำไหลผ่านรอยต่อพื้นสะพาน

ข้อมูลเบื้องต้น

- สภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
- รูปแบบรอยต่อของพื้นสะพาน การขยายตัวและการหดตัว (Movement)
- รูปแบบ ชนิด รายละเอียดและคุณสมบัติของรอยต่อพื้นสะพาน
- ขั้นตอนวิธีการติดตั้งของรอยต่อพื้นสะพาน
- ประวัติการใช้งาน การรับประกันผลงานของผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่าย

เครื่องมือ และอุปกรณ์

- เครื่องตัดคอนกรีต
- เครื่องเป่าลม
- รถบรรทุกน้ำ
- เครื่องทำให้คอนกรีตแน่นตัวและอุปกรณ์งานคอนกรีต เช่น เกรียงแต่งหน้าปูน รถเข็นปูน และอื่นๆ
- เครื่องเชื่อม

ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

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

ขั้นตอนการก่อสร้าง กรณีตัวอย่างการติดตั้ง Expansion Joint ตามแบบที่แสดงในรูป

1. กำหนด Block Out Concrete บริเวณรอยต่อพื้นสะพานที่ทำการติดตั้ง Expansion Joint พร้อมทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งไว้
2. ใส่หินคลุกหรือวัสดุอื่นให้เต็มพื้นที่ที่ Block Out Concrete บดอัดให้แน่น

3. ปูแอสฟัลท์คอนกรีตบนพื้นสะพานโดยต่อเนื่องตามแบบกำหนด (ถ้ามี) รวมทั้งบริเวณพื้นที่ที่ Block Out Concrete

4. ตัดผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตตามแนวที่ Block Out

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

ภาพแสดงรอยต่อพื้นสะพาน Expansion Joint เมื่อแล้วเสร็จ

ข้อควรระวังในงานรอยต่อพื้นสะพาน (Expansion Joint) มีดังนี้

- การติดตั้ง Joint ต่างๆ บนพื้นสะพานนั้น หลักสำคัญต้องตรวจสอบระดับให้ถูกต้องเพื่อให้รอยต่อเสมอกัน และยังต้องคำนึงถึงวิธีการในการติดตั้งให้สมบูรณ์เป็นไปตามข้อกำหนดจากแบบก่อสร้างด้วย
- การเชื่อมสำหรับรอยต่อชนิดใช้แผ่นเหล็กจะต้องทำให้เหล็กรูปตัว U ที่ใช้เสริมยึดระหว่างแผ่นเหล็กกับเนื้อคอนกรีตเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กให้สนิทและสมบูรณ์อย่าให้หลุดได้ พร้อมทั้งตรวจสอบระดับที่ติดตั้งให้ถูกต้องตามแบบ
- ส่วนที่เป็นคอนกรีตใน Block Out บริเวณ Joint ต้องใช้วัสดุที่ไม่หดตัวมักใช้ Non Shrink Concrete เป็นตัวประสานระหว่าง คอนกรีตกับ Joint เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกระหว่างคอนกรีตกับ Joint และน้ำซึมลงไปใน Joint ได้ อีกทั้งยังป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตที่เทใหม่
- ในการเทคอนกรีตใน Block Out หากไม่สามารถใช้น้ำยาประสาน (Epoxy Bonding) เพื่อประสานระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตใหม่ ควรจะรดน้ำให้คอนกรีตเดิมชุ่มน้ำอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ก่อนเทคอนกรีตใหม่ลงใน Block Out และหากมีการใช้น้ำยาประสานคอนกรีตต้องดำเนินการให้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตผลิตภัณฑ์นั้นโดยเคร่งครัด
- ต้องตรวจสอบการปรับระดับคอนกรีตให้ถูกต้องและเสมอกับระดับบนของ Joint
- การติดตั้งรอยต่อต้องให้ Joint แนบสนิทกับเนื้อคอนกรีตไม่ให้เกิดช่องว่างใต้ Joint ได้ เพราะถ้าติดตั้งไม่แนบสนิทแล้ว เมื่อเปิดการจราจรแล้วอาจเกิดแรงกระทำ ทำให้คอนกรีตบริเวณรอยต่อเกิดการแตกร้าวได้
- ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องเทคอนกรีต Block Out ก่อนแล้วทำการปูยางผิวแอสฟัลท์คอนกรีตในภายหลังต้องเน้นการแต่งปรับระดับ และการบดอัดแอสฟัลท์คอนกรีตบริเวณรอยต่อพื้นสะพานอย่างพิถีพิถัน เพื่อความราบเรียบเสมอกันระหว่างคอนกรีต Block Out กับผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตบนพื้นสะพาน

ชนิดของรอยต่อ

รอยต่อพื้นสะพาน (Expansion Joint) จำแนกออกตามการเคลื่อนตัว (Movement) ของโครงสร้างพื้นสะพานเพื่อรับน้ำหนักการจราจรและการยืดหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ได้ดังนี้

– รอยต่อสำหรับการเคลื่อนตัวไม่มาก (Joints for Small Movements)

เป็นรอยต่อสำหรับการเคลื่อนตัว (Movement) น้อยกว่า 5 มม. และเคลื่อนตัวได้มากสุด 10 มม. วัสดุที่ใช้อุดรอยต่อมักใช้กระดาษชานอ้อยเสมอระดับพื้นเพื่อลดแรงกระแทก หรือใช้ยางปิดด้านบนของรอยต่อ (Sealant) ไม่สามารถป้องกันการไหลซึมของน้ำลงด้านล่างได้ โดยทั่วไปมักปูยางแอสฟัลต์คอนกรีตทับบนพื้นสะพานอีกชั้นหนึ่งจะช่วยป้องกันการรั่วซึมของรอยต่อพื้นได้

– รอยต่อสำหรับการเคลื่อนตัวปานกลาง (Joint for Medium Movements)

เป็นรอยต่อพื้นสะพานที่นิยมใช้กันมากที่สุด มีการติดตั้งอุปกรณ์รอยต่อระหว่างช่องว่างของพื้นสะพานให้เกิดความต่อเนื่องของผิวจราจร เกิดความราบเรียบในการขับขี่มีขนาดความกว้างของรอยต่อให้เลือกตามช่วงของการเคลื่อนตัว (Movement) ของโครงสร้างพื้นสะพาน ระหว่างรอยต่อของพื้นสะพานอาจใช้ ยางสังเคราะห์ ป้องกันการไหลซึมของน้ำลงด้านล่าง ซึ่งต้องดูแลรักษาอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากเมื่อใช้งานแล้วเศษวัสดุต่างๆ เช่น เศษดิน หิน ฝุ่น สิ่งสกปรกลงไปอุดในรอยต่อของพื้นสะพาน เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนตัวของรอยต่อพื้นสะพาน และก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์รอยต่อพื้นสะพานได้

การติดตั้งรอยต่อพื้นสะพานแบบนี้ ต้องใช้ความละเอียดและประสบการณ์ในการทำงาน เพื่อให้เกิดความเรียบเสมอระดับผิวจราจร บริเวณขอบของรอยต่อควรใช้คอนกรีตคุณภาพสูงหรือ Epoxy Mortar ยึดรั้งอุปกรณ์รอยต่อทั้งสองด้านและติดตั้งแผ่นยางสังเคราะห์ยึดอุปกรณ์รอยต่อระหว่างช่องว่างทั้งสองด้าน เพื่อป้องกันน้ำหรือเศษวัสดุต่างๆ ตกลงในรอยต่อพื้นสะพาน

Expansion Joints for Medium Movement

- รอยต่อสำหรับการเคลื่อนตัวมาก (Joints for Large Movements)

รอยต่อชนิดนี้มีหลายแบบที่ใช้กัน เช่น Sliding Plates, Tooth or Comb Plates. รอยต่อลักษณะนี้น้ำสามารถผ่านได้แต่มีอุปกรณ์รองรับน้ำอยู่ด้านใต้ของรอยต่อซึ่งมีระบบการระบายน้ำที่ดี ทำให้ไม่มีเศษสิ่งสกปรกต่างๆ เช่น เศษดิน หิน ทรายตกค้างสะสม

สำหรับการเคลื่อนตัวของรอยต่อชนิดนี้มีมากหลายขนาดเช่น การเคลื่อนตัวมากประมาณ 130 มม. มักใช้รอยต่อแบบ Tooth Plates หนา 40 มม. และหากมีการเคลื่อนตัวมากกว่านี้นิยมใช้รอยต่อแบบ Comb Plates

รอยต่อสำหรับการเคลื่อนตัวมากต้องใช้อุปกรณ์รอยต่อที่มีความแข็งแรงมาก ขนาดขึ้นอยู่กับการออกแบบ การติดตั้งต้องอาศัยผู้ชำนาญจากบริษัทผู้ผลิต และมีประวัติการให้บริการในการบำรุงรักษาที่ดี

Expansion Joints for large movement

Bridge Approach Structure

บทนำ

Bridge Approach Structure เป็นโครงสร้างเชิงลาดที่ต่อเชื่อมระหว่างโครงสร้างสะพานกับถนน โดยทั่วไปออกแบบเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยกำแพงทึบ 2 ข้างที่อาจมีช่องเปิดเป็นระยะๆ ภายในเป็นช่องโปร่ง สามารถใช้โครงสร้างส่วนนี้ให้เกิดประโยชน์ในงานบำรุงทาง โดยใช้เป็นที่เก็บวัสดุหรือห้องปฏิบัติงาน เมื่อเปรียบเทียบ Bridge Approach Structure ชนิดมีกำแพงหล่อในที่กับคานคอนกรีตอัดแรงของสะพานในช่วงความยาวที่เท่ากันแล้ว Bridge Approach Structure มีขั้นตอนและใช้ระยะเวลาก่อสร้างมากกว่า นอกจากนั้นในการก่อสร้างโครงสร้างส่วนบนยังต้องใช้ระบบค้ำยัน และนั่งร้านรองรับ

รูปที่ 1 สะพานที่มี Bridge Approach Structure

รูปที่ 2 Bridge Approach Structure ที่อยู่ในช่วงทางโค้ง

ข้อมูลเบื้องต้น

- สภาพทางธรณีวิทยาของชั้นดิน และลักษณะของฐานราก
- ระดับดินเดิมบริเวณก่อสร้างและระดับน้ำสูงสุด
- ตำแหน่ง แนวและระดับก่อสร้างพื้นสะพานช่วงเชิงลาด
- รายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องตามลำดับขั้นตอนการทำงาน เช่น ระบบการระบายน้ำจากพื้นสะพาน ท่อร้อยสายไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระดับดินถมภายใน Bridge Approach Structure ฯลฯ

องค์ประกอบของ Bridge Approach Structure

- **ฐานราก** เป็นเสาเข็มตอก (Driving Pile) หรือเสาเข็มเจาะ (Bored Pile) ซึ่งเสาเข็มเจาะเหมาะกับกรณีที่ก่อสร้างในเขตชุมชน หรือชิดกับโครงสร้างอื่นที่อาจเกิดความเสียหายจากการตอกเสาเข็ม
- **คานคอดิน** (Ground Beam) และ**แท่นหัวเข็ม** (Pile Cap) เป็นโครงสร้าง คสล. ส่วนล่างของ Bridge Approach Structure คานคอดินมีทั้งตามแนวยาวและตามแนวขวาง ทำหน้าที่โยงยึดระบบโครงสร้าง ระดับท้องคานคอดินควรอยู่ที่ระดับดินเดิม หรือตามแบบกำหนด
- **เสา** (Column) เสาภายใน Bridge Approach Structure ออกแบบให้มีช่วงระยะห่างไม่มากนักเพื่อกระจายการรับน้ำหนัก เสาอาจมีแถวเดียวหรือหลายแถวขึ้นอยู่กับความกว้างของสะพาน
- **กำแพง** (Wall) เป็นโครงสร้างด้านข้างตามแนวยาวของสะพาน ช่วยกระจายน้ำหนักลงสู่คานคอดินและฐานราก อาจมีช่องเปิดตามแบบกำหนด
- **คานบน** (Upper Beam) เป็นคาน คสล.ตามแนวยาวและอาจมีตามแนวขวาง ออกแบบให้รองรับและกระจายน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบน (Super Structure) ลงสู่เสา
- **พื้นบน** (Topping Slab) เป็นโครงสร้างส่วนบนใช้เป็นผิวจราจร

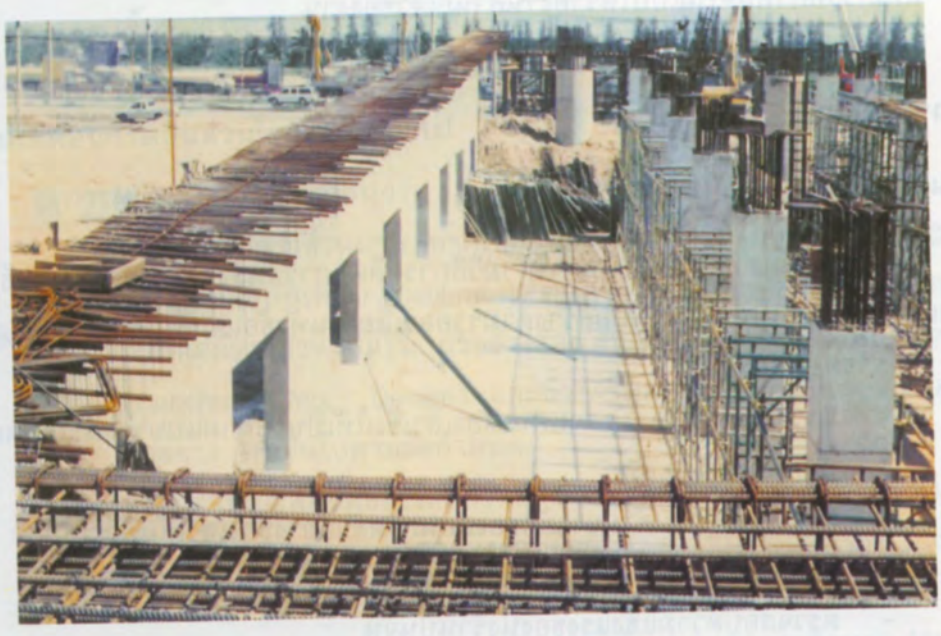
รูปที่ 3 งานเหล็กเสริมแท่นหัวเข็ม

รูปที่ 4 งานก่อสร้างคานคอดิน

รูปที่ 5 งานหล่อเสา (Column)

รูปที่ 6 งานหล่อกำแพง บนคานคอดิน

รูปที่ 7 การประกอบแบบหล่อกำแพง และช่องหน้าต่าง



รูปที่ 8 เตรียมการตั้งนั่งร้านและค้ำยันเพื่อก่อสร้างคานบน และพื้นบน

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องจักรในการดำเนินการตอกเสาเข็มประกอบด้วย ปั้นจั่น รถขุด(Back Hoe) รถยก (Mobile Crane) รถขนย้ายเสาเข็ม หรือ เครื่องจักรในการดำเนินการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ
- เครื่องมือเครื่องจักรในการก่อสร้างโครงสร้าง Bridge Approach Structure
  - เครื่องจักร เช่น รถขนย้ายวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ รถปั๊มคอนกรีต
  - อุปกรณ์เครื่องมือ สำหรับงานแบบไม้ แบบเหล็ก รวมถึงงานระบบค้ำยัน และนั่งร้าน
  - อุปกรณ์เครื่องมือในการเทและตกแต่งผิวคอนกรีต เช่น ถังปล่อยคอนกรีต (Bucket) หรือเครื่องลำเลียงคอนกรีตด้วยแรงดัน (Concrete Pump)
  - วัสดุและอุปกรณ์ในการบ่มคอนกรีต

ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

- ทำการสำรวจและศึกษาทางด้านธรณีวิทยาและข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็น ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบกับสภาพจริงในสนาม หากไม่เหมาะสมให้รายงานสำนักเจ้าของงาน
- ตรวจสอบแนวพิกัด ระดับของโครงสร้างที่กำหนดในแบบก่อสร้างและข้อมูลในสนามให้มีความสอดคล้องถูกต้องเหมาะสมและเป็นไปตามแบบรายละเอียดและข้อกำหนด เช่น ความสูงมากที่สุดของกำแพง Bridge Approach Structure ต้องไม่เกินกว่าที่ระบุไว้ในแบบ หากสูงเกินกว่าที่กำหนดในแบบให้รายงานสำนักเจ้าของงาน

ขั้นตอนการก่อสร้าง

ฐานรากชนิดเสาตอก (Driving Pile)

การปฏิบัติงาน ให้ดำเนินการตามวิธีการผลิต การขนส่งและการตอกเสาเข็มตามลักษณะของเสาเข็มที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้างตามรายละเอียดในหัวข้อเสาเข็มตอก (Driving Pile)

การตอกเสาเข็ม

- ตรวจสอบขนาด ผังตำแหน่งของเสาเข็มให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและลำดับการตอกต้องเหมาะสม
- ตรวจสอบความต้านแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างของเสาเข็มที่จะใช้ตอก
- ตรวจสอบค่าระดับดินเดิมบริเวณผังเสาเข็ม
- ตรวจสอบความแข็งแรงของนั่งร้านปั้นจั่น
- ตรวจสอบฐานปั้นจั่นให้อยู่ในแนวระนาบ และรางบังคับลูกตุ้มของปั้นจั่นต้องไม่คดงอ
- เตรียมพื้นที่สำหรับการกองเสาเข็มเพื่อความสะดวกในการชักลากและยกเสาเข็มขึ้นตั้งเพื่อตอก โดยต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดความเสียหาย
- ทำเครื่องหมายทุกระยะ 0.50 เมตร ตลอดความยาวของเสาเข็ม
- ทำหมุดหลักฐานไว้สำหรับตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มทุกต้นอย่างน้อย 2 ทิศทาง
- กรณีตอกเสาเข็มในแนวดิ่ง รางบังคับลูกตุ้มของปั้นจั่นต้องอยู่ในแนวดิ่ง ทั้ง 2 ทิศทาง

- ตรวจสอบแนวแกนเสาเข็มให้ขนานกับรางบังคับลูกตุ้มทั้ง 2 ทิศทาง
- ดำเนินการตอกเสาเข็ม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและข้อกำหนด ลำดับการตอกต้องเหมาะสม
- เมื่อเริ่มตอกเสาเข็ม ให้บันทึกระยะยกลูกตุ้ม จำนวนครั้งที่ตอกและระยะที่เสาเข็มจม
- ขณะเริ่มตอกเสาเข็มและระหว่างการตอก เมื่อพบความคลาดเคลื่อน หรือข้อบกพร่อง ให้ทำการแก้ไขก่อนดำเนินการตอกเสาเข็มต่อไป ให้ตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็มกับหมุดหลักฐานและสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มเป็นระยะๆ
- เมื่ออัตราการจมของเสาเข็มจากการตอกใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณความสามารถการรับน้ำหนัก ให้ทำการวัดอัตราการจมเฉลี่ยต่อการตอก 5 ครั้ง จำนวน 3 ค่า หากได้ค่าเฉลี่ยอัตราการจมน้อยกว่าจากการคำนวณ ให้ถือว่าเสาเข็มรับน้ำหนักได้ตามข้อกำหนด
- หลังจากการตอกเสาเข็มแล้วเสร็จ ให้บันทึกตำแหน่ง ระดับ ความสามารถการรับน้ำหนัก โดยคำนวณจาก Hiley's Formula หากตำแหน่งเสาเข็มคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งเกินกว่า 75 มม. ทุกทิศทาง ให้รายงานสำนักเจ้าของงาน
- รวบรวมข้อมูลของเสาเข็มและบันทึกตามแบบฟอร์ม ก.1 พร้อมบันทึกค่าระดับปลายเสาเข็มในแบบ บ. 4.2 ของกรมทางหลวง
- อาจใช้เสาเข็มเจาะแทนเสาเข็มตอกได้ โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักเจ้าของงาน

งานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม หากใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready-Mixed Concrete) ต้องทำการทดสอบเทียบ (Calibrate) เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้ ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Concrete Mix Design) และทำการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต เช่น ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด ในกรณีใช้เครื่อง Concrete Pump ต้องตรวจสอบอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสม
- ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion) ความสะอาดของหินหรือกรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ก่อนเทคอนกรีตใหม่เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน ทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนหรือน้ำยาประสานคอนกรีตบนผิวคอนกรีตที่เตรียมไว้ แล้วเทคอนกรีตใหม่ทันที
- ก่อนเทคอนกรีต ต้องคอยตรวจสอบอุปกรณ์ หรือวัสดุที่ฝังไว้มิให้มีการเคลื่อนที่

- ตรวจสอบแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ มีความแข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้
- กรณีใช้ไม้แบบเป็นแบบหล่อ ให้พรมน้ำที่ไม้แบบก่อน เพื่อป้องกันไม้แบบดูดน้ำจากส่วนผสมคอนกรีต วัสดุไม้ที่ใช้ทำเป็นแบบหล่อต้องใช้ชนิดที่เมื่อถูกน้ำแล้วไม่พองบวมหรือเปลี่ยนรูป
- ตรวจชนิด ขนาด จำนวน ระยะห่าง ระยะทาบ ตำแหน่งการทาบ ความสะอาดและไม่มีสนิมขุมของเหล็กเสริม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและข้อกำหนด
- ตรวจระยะหุ้ม (Covering) ให้ตรงตามข้อกำหนด เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง (Bar Chair) รองรับให้แข็งแรงไม่ทรุด
- จัดเตรียมจำนวนคนงานและช่างฝีมือ เครื่องมืออุปกรณ์ในการเทคอนกรีตให้เพียงพอกับลักษณะงานและปริมาณงาน
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีตและต้องเตรียมอุปกรณ์ป้องกัน กรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

งานเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากช่างผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามข้อกำหนดหรืออัตราส่วนผสมที่ได้รับความเห็นชอบ หากใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready – Mixed Concrete) ให้ควบคุมเวลาในการผสมให้เหมาะสม โดยต้องไม่น้อยกว่า 2 นาที
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ตรวจสอบการขนส่งคอนกรีตจากรถขนส่งไปยังจุดที่ต้องการเท โดยไม่ให้เกิดการแยกตัว ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยในการเทคอนกรีตเพื่อป้องกันการแยกตัว ในกรณีที่ระยะปล่อยคอนกรีตสูงเกินกว่า 2.00 เมตร
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเท และเป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบควบคุมให้มีการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Vibrator) อย่างถูกวิธี
- ขณะเทคอนกรีต ให้เก็บแท่งคอนกรีตตัวอย่างเพื่อการตรวจสอบกำลังอัด
- ตรวจสอบความพร้อมของผู้ปฏิบัติงานและสภาพของเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ให้มีจำนวนเพียงพอและใช้งานได้ดี
- ตรวจกรรมวิธีการเทคอนกรีตของผู้ปฏิบัติงาน เช่น การทำให้คอนกรีตแน่นตัวด้วยเครื่องสั่นสะเทือน การตกแต่งผิวคอนกรีต ขณะเทคอนกรีต ตรวจสอบแบบหล่อว่ามี

ความผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่ เช่น ค้ำยัน น๊อต ลิ่ม ฯลฯ ที่ใช้ยึดข้างและปากแบบอาจหลุดหรือชำรุดไม่แข็งแรงเพียงพอ ต้องรีบแก้ไขทันที

- ขณะที่เทคอนกรีตต้องคอยตรวจสอบตำแหน่งของเหล็กเสริม รวมทั้งอุปกรณ์หรือวัสดุที่ฝังไว้ ไม่ให้มีการเคลื่อนที่
- ตรวจสอบปริมาณคอนกรีตที่เทเมื่อขณะใกล้เสร็จงาน ให้พอดีตามระดับที่ต้องการ
- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที

งานหลังเทคอนกรีต

- การถอดแบบให้ทำได้เมื่อคอนกรีตครบอายุ ตามข้อกำหนด ต่อไปนี้
  - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
  - แบบประกอบด้านล่างรองรับคาน พื้นบน 14 วัน
  - ในกรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ผลการทดลองการรับกำลังอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้นต้องไม่น้อยกว่าค่าความต้านแรงอัดที่ 28 วัน
- เมื่อถอดแบบแล้วหากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อนายช่างควบคุมงานโดยทันที
- ตรวจสอบผลการทดลองความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด หากผลการทดลองไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ให้ผู้ควบคุมงานรายงานสำนักเจ้าของงานทราบโดยทันที

คานคอดิน (Ground Beam) และ แท่นหัวเสาเข็ม (Pile Cap)

เป็นโครงสร้าง คสล. ส่วนล่างของ Bridge Approach Structure คานคอดินมีทั้งตามแนวยาวและตามแนวขวาง ทำหน้าที่โยงยึดระบบโครงสร้างให้ต่อเนื่อง โดยปกติระดับหลังคานคอดินและระดับหลังแท่นหัวเสาเข็มอยู่ในระดับเดียวกันกับฐานรากตอม่อริม (Abutment) หรือตามแบบกำหนด

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดการเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป
- แบบหล่อคานคอดิน และแท่นหัวเข็มต้องมีขนาดและหน้าตัดตามแบบกำหนด
- ในกรณีที่แบบไม่ได้กำหนดรายละเอียดไว้ ให้ใช้ปูนทรายหรือคอนกรีตหยาบรองแทนแบบหล่อท้องคานหรือแท่นหัวเข็มโดยความเห็นชอบของนายช่างควบคุมงาน
- ตรวจสอบระยะหุ้มคอนกรีตโดยเฉพาะที่ท้องคานหรือแท่นหัวเข็ม ลูกปูนหนุนต้องมีความแข็งแรงและจำนวนเพียงพอ ไม่แตกหรือทรุดจมจากการรับน้ำหนักเหล็กเสริม

- ตรวจสอบขนาด ตำแหน่ง จำนวนเหล็กเสริมสำหรับเสาและกำแพงที่ฝังอยู่ในคานคอดิน ให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- การเทคอนกรีต ควรเทให้เต็มช่วงคาน โดยหยุดในเสาเพื่อลดจุดอ่อน หากไม่สามารถเทได้ตลอดให้หยุดเทที่กึ่งกลางคาน ในระนาบตั้งฉากกับแกนคานซึ่งเป็นบริเวณที่มีแรงเฉือนน้อยที่สุด

งานเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดงานเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้น ส่วนโครงสร้างทั่วไป

งานหลังเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดงานหลังเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป

เสา (Column)

ดำเนินการตรวจสอบตำแหน่ง ระยะระหว่างเสา แนวดิ่งของเสา จำนวนและตำแหน่งเหล็กเสริมในเสา ระยะทาบเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบ

การเตรียมงานก่อนการเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดการเตรียมงานก่อนเทคอนกรีตในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป
- ตรวจสอบตำแหน่งของแบบหล่อให้ได้ดิ่ง ฉาก กำหนดระดับที่จะหยุดเทคอนกรีตให้เหมาะสม
- ตรวจผิวของแบบหล่อให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบความแข็งแรงของค้ำยัน

งานเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดงานเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป

งานหลังเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดงานหลังเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีต ชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป

- ตรวจสอบและกำจัดกากน้ำปูนที่บริเวณคอเสา หัวเสาหรือที่รอยต่อ เนื่องจากจะเป็นตัวคั่นไม่ให้คอนกรีตเสาต่อเนื่องกัน

กำแพง (Wall)

ดำเนินการตรวจสอบแนว ระดับ ความสูง ความหนา และความยาวของกำแพงให้ถูกต้องตามแบบ

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดการเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป
- กำหนดความสูงของแบบกำแพงในการเทคอนกรีตแต่ละครั้งให้เหมาะสม โดยได้รับความเห็นของนายช่างควบคุมงาน

งานเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดการเตรียมงานเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป
- กำหนดความสูงในการเทคอนกรีตแต่ละชั้นให้เหมาะสมและต้องเทต่อเนื่องจนแล้วเสร็จ

งานหลังเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดการเตรียมงานหลังเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป
- ตรวจสอบและกำจัดกากน้ำปูนที่ผิวหน้าคอนกรีตส่วนบนขอบกำแพงบริเวณรอยต่อพื้นบน

คานบน (Upper Beam)

ดำเนินการตรวจสอบขนาดและระดับของคานบนรวมทั้งแนวและตำแหน่งให้ถูกต้องตามแบบ

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดการเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป
- แบบหล่อคานต้องมีหน้าตัดตามแบบกำหนด

งานเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดการเตรียมงานเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป
- การเทคอนกรีต ควรเทให้เต็มช่วงคาน โดยหยุดในเสาเพื่อลดจุดอ่อน หากไม่สามารถเทได้ตลอดให้หยุดเทที่กึ่งกลางคานในระนาบตั้งฉากกับแกนคาน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีแรงเฉือนน้อยที่สุด

งานหลังเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดการเตรียมงานหลังเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป

พื้นบน (Topping Slab)

พื้นบนเป็นส่วนของโครงสร้างที่รับน้ำหนักโดยตรงที่กระทำต่อ Bridge Approach Structure ดำเนินการตรวจสอบควบคุมงานตามขั้นตอนการเตรียมการก่อนเทคอนกรีต งานเทคอนกรีต งานหลังเทคอนกรีต โดยเน้นในเรื่องการตรวจสอบแนว ระดับ ตำแหน่งรอยต่อพื้น(Joint) ระบบระบายน้ำ แบบหล่อพื้นบนปกติแล้วรองรับด้วยระบบนั่งร้านและค้ำยันชั่วคราวชนิดเป็นวัสดุไม้หรือเหล็กที่มีความมั่งคงแข็งแรง มีค้ำยันทแยงหรือขวางเสริมเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวด้านข้างระหว่างเสาค้ำยัน

การจัดวางเหล็กเสริมคอนกรีต การเสริมเหล็กเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งซึ่งมีขั้นตอนการตรวจสอบ ดังนี้

- ตรวจสอบการจัดวางเหล็กเสริมหลัก ต้องมีขนาดความยาว และตำแหน่ง การเสริมถูกตำแหน่งและทิศทางที่แบบกำหนด
- ตรวจสอบเหล็กเสริมพิเศษ บนหลังคานบน หรือจุดรับกำลังอื่นๆ ตามแบบกำหนด
- ตรวจสอบระยะทาบ และตำแหน่งการทาบต้องอยู่ในจุดที่เกิดแรงดึงน้อยที่สุด
- ตรวจสอบระยะ Covering ระหว่างเหล็กกับผิวคอนกรีตทั้งด้านล่างและด้านบนว่าพอหรือไม่ ส่วน Covering ด้านบนควรต้องเผื่อ Covering เพื่อให้เพียงพอกับการวางเหล็กระดับด้านบนด้วย และ Covering ด้านล่างต้องมีลูกปูนหนุนเพื่อให้ได้ระยะ Covering ตามกำหนด

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดการเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป

- ตรวจสอบระดับพื้นคอนกรีตก่อนการเทให้ถูกต้อง และใช้เหล็กระดับวางชั่วคราวที่แข็งแรงพอเป็นระดับอ้างอิงที่ใช้เท (ส่วนใหญ่ใช้ท่อเหล็กแป๊บ) ซึ่งมีความยาวเพียงพอตลอดแนวการเทตามแนวขวางหรือตามแนวขนานกับทิศทางการจราจร (Traffic Direction) โดยต้องจัดวางด้วยระยะ(Spacing) ในแนวขนานหรือตั้งฉากกับแนวทิศทางการจราจรตามลำดับและไม่ให้ระยะเกินกว่าความสามารถของคนงานที่ใช้ไม้สามเหลี่ยมปาดแต่งระดับ และขาหยั่ง(Bar Chair) ของเหล็กระดับต้องได้รับการเชื่อมยึดให้มั่นคง และติดตั้งตามจำนวนที่เหมาะสม

งานเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดการเตรียมงานเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป
- เทคอนกรีตในแนวตั้งฉากหรือขนานกับทิศทางการจราจร(Traffic Direction) จากส่วนล่างไปหาส่วนบนที่ระดับเหนือกว่าและในขณะเดียวกันเริ่มจาก Grade ต่ำไปหา Grade ที่สูงกว่า ทั้งนี้จะเทตามขวาง (ตั้งฉาก) หรือตามยาว (ขนาน) กับแนว Traffic Direction ให้พิจารณาถึงช่วง Span ที่เหมาะสม แนว (Alignment) เป็นแนวตรงหรืออยู่ในโค้งราบ แนวรูปตัดตามยาว (Profile) เป็นแนวตรงหรืออยู่ในโค้งดิ่ง ความลาดของผิว Bridge Approach Structure ตามขวาง (Crown Slope) การยกระดับขอบทางโค้ง(Superelevation) และการจัดระยะในการยกระดับขอบทางโค้ง (Transition Length)ด้วย โดยให้เทตามช่องของเหล็กระดับที่ถูกจัดวางไว้
- ตรวจสอบคอนกรีตที่จะเทบริเวณเดียวกันนั้นให้มีความข้นเหลว (Slump) คงที่เหมือนกัน
- ควบคุมการจี้คอนกรีตให้ถูกวิธีตามมาตรฐานและห้ามจี้คอนกรีตที่เริ่มก่อตัวแล้ว
- ให้ใช้อุปกรณ์รีด ปรับระดับคอนกรีตที่เทให้เป็นไปตามระดับที่ให้ไว้ (อุปกรณ์รีดคอนกรีตเหมือนกับที่ใช้ในงาน Concrete Pavement) โดยให้ตัวรีดวางในแนวตั้งฉากกับเหล็กระดับ และทิศทางการไสรีดก็อยู่ในแนวนี้เช่นกัน

งานหลังการเทคอนกรีต

- ให้ดำเนินการตามรายละเอียดการเตรียมงานหลังเทคอนกรีต ในหัวข้องานเทคอนกรีตชิ้นส่วนโครงสร้างทั่วไป
- ควบคุมการปาดแต่งระดับโดยให้ใช้อุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเพียงพอที่จะกดปาดแต่งระดับได้ เช่น ไม้สามเหลี่ยมขนาดประมาณ 1.5-2.0 เมตร การปาดแต่งระดับต้องให้ระดับที่ปาดแต่งพอดีกับระดับของเหล็กระดับที่วางไว้ถ้าต่ำไปให้เสริมคอนกรีตเพิ่มเข้าไป ถ้าสูงไปให้พยายามกดแล้วปาดคอนกรีตออกก่อนที่จะปาดแต่งระดับอีกครั้งหนึ่ง
- การขัดแต่งผิวหน้าให้กระทำเมื่อคอนกรีตก่อตัวไปแล้วพอสมควรแต่บริเวณผิวหน้าต้องไม่แห้งถึงขั้นที่ขัดแต่งไม่ได้ สังเกตได้จากยังมีส่วนที่เป็นน้ำจากคอนกรีตอยู่บริเวณผิว

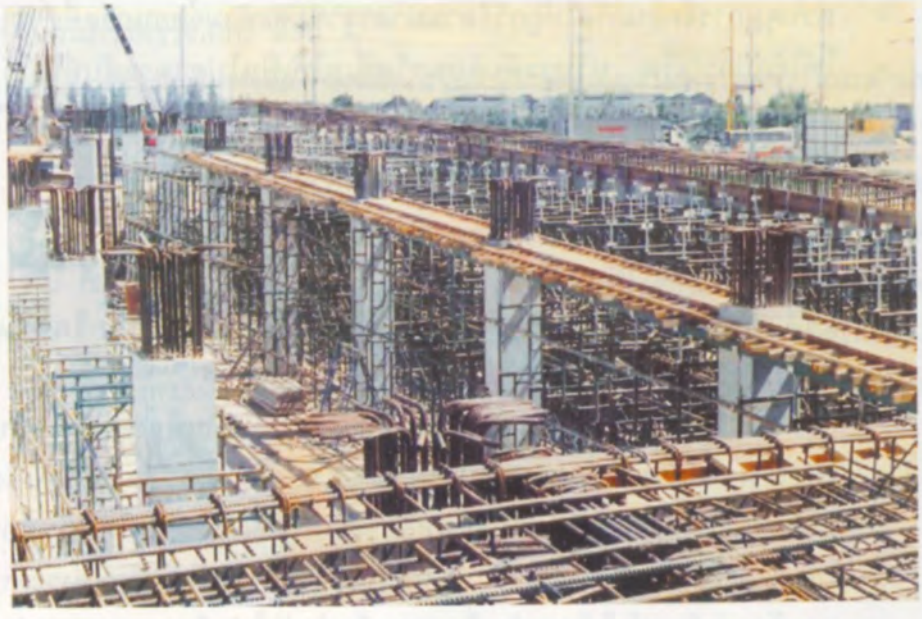
- การขีดเส้นแต่งผิวหน้าให้รีบกระทำหลังจากขัดแต่งผิวหน้าก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว
- การบ่มคอนกรีตต้องให้สม่ำเสมอทั่วถึงกันตลอดพื้นที่ที่เทคอนกรีตเสร็จ
- การถอดแบบและค้ำยันแบบให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตได้อายุมากพอหรือตามที่กำหนดไว้เท่านั้น
- การตรวจสอบระดับพื้น Bridge Approach Structure ที่เทเสร็จแล้วอีกครั้งหนึ่งเพื่อดูว่าการเผื่อระดับไว้ก่อนเทคอนกรีตนั้นถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องให้ปรับเพิ่ม-ลดตามความเหมาะสม เพื่อให้ระดับพื้นหลังก่อสร้างเสร็จเป็นไปตามแบบ

ขอบทาง เสาและราว

ดำเนินการตรวจสอบควบคุมงานตามขั้นตอนเหมือนหัวข้อขอบทาง และราวสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

รอยต่อพื้น (Joint)

- ตรวจสอบชนิด ขนาดของรอยต่อที่ใช้ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด
- ตรวจสอบการติดตั้ง ตำแหน่ง ระดับ รวมไปถึงวิธีการติดตั้งให้เป็นไปตามข้อกำหนดหรือตามข้อแนะนำของผู้ผลิต
- ตรวจสอบคุณสมบัติวัสดุที่ใช้อุดรอยต่อให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบแบบรอยต่อ ระยะ ความกว้าง และความลึกให้เป็นไปตามข้อกำหนด



รูปที่ 9 แบบรองรับคานบน และพื้นบน

รูปที่ 10 งานแบบพื้นบน

รูปที่ 11 งานเหล็กเสริมพื้นบน

รูปที่ 12 การวางเหล็กควบคุมระดับ(ตามแนวขวาง)สำหรับการเทคอนกรีต

รูปที่ 13 งานเทคอนกรีตพื้นบน

รูปที่ 14 งานตกแต่งผิวพื้นบนโดยใช้ Steel Trowel

ปัญหาและวิธีการแก้ไข

1. ระดับและความสูงของ Bridge Approach Structure ที่กำหนดไว้ไว้ในแบบก่อสร้าง ไม่สอดคล้องหรือเหมาะสมกับสภาพจริงหน้างาน

แนวทางการแก้ไข :

- ก่อนดำเนินการก่อสร้างสะพาน ต้องสำรวจและตรวจสอบค่าระดับและพิกัดตำแหน่ง จากสภาพหน้างานจริงเปรียบเทียบกับแบบก่อสร้าง เช่น ค่าระดับของถนนและดินเดิมบริเวณก่อสร้าง ค่าระดับน้ำสูงสุด ตรวจสอบความสูงของช่องลอด (Vertical Clearance) ถนนใต้สะพาน หากความสูงของช่องลอดมีค่าต่ำกว่าค่าความสูงมาตรฐานที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ของกรมทางหลวง อาจต้องทำการปรับค่าระดับสะพานหรือถนนลอดใต้สะพานจากที่แบบกำหนด และอาจต้องเผื่อสำหรับการปรับปรุงถนนลอดใต้สะพานนั้นในอนาคต นอกจากนั้นต้องตรวจสอบความสูงตอม่อตับริม (Abutment) ไม่ให้เกินที่กำหนดในแบบ หากค่าระดับคานคอดิน กำแพงที่จะก่อสร้างตามแบบไม่เหมาะสม เช่น จมอยู่ในดินเดิมมาก ให้แจ้งสำนักเจ้าของงานพิจารณา

รูปที่ 15 ปัญหาน้ำท่วมขังภายใน Bridge Approach Structure

รูปที่ 16 ระดับฐาน Bridge Approach Structure ต่ำกว่าระดับถนน

2. พื้น Topping Slab ไม่ราบเรียบ ซึ่งอาจเกิดจากการทรุดตัวของค้ำยันและนั่งร้านขณะเทคอนกรีต

แนวทางการป้องกัน :

- ตรวจสอบให้ค้ำยันอยู่บนที่รองรับที่แข็งแรงเพียงพอ
- ตรวจสอบค้ำยัน และตงรับพื้นไม้ไม่ให้มีระยะห่างมากเกินไป มีการโยงยึด(Bracing)ที่มั่นคงแข็งแรง
- ห้ามนำวัสดุที่เสื่อมสภาพมาใช้ประกอบเป็นค้ำยัน และนั่งร้าน

รูปที่ 17 แสดงผิวบนพื้นโครงสร้าง Bridge Approach Structure ไม่เรียบ
สาเหตุเกิดการทรุดตัวของนั่งร้าน และค้ำยันด้านล่าง

รูปที่ 18 แสดงค้ำยันและตงรับพื้นบน Bridge Approach Structure มีระยะห่างมากเกินไป
เกิดการแอ่นตัวขณะเทคอนกรีต

รูปที่ 19 แสดงปลายค้ำยันบนแผ่นไม้กระดานที่ไม่กระจายน้ำหนักแผ่ลงบนพื้นดินได้อย่างสม่ำเสมอ

รูปที่ 20 ค้ำยันและนั่งร้านที่อยู่บนพื้นรองรับซึ่งไม่มีความแข็งแรงเพียงพอ

กำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน (Reinforced Earth Wall)

บทนำ

ในการก่อสร้างสะพาน โครงสร้างที่เชื่อมต่อระหว่างถนนกับสะพานเรียกกันว่า คอสะพาน (Approach Structure) จุดประสงค์ของการก่อสร้าง เพื่อลดความยาวสะพาน ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสะพาน ลักษณะการออกแบบโครงสร้างคอสะพาน หากปราศจากข้อจำกัดด้านเขตทางหลวง จะทำการถมดินคันทางด้วยความลาดชันของคันทางด้านข้าง 2:1 แต่หากมีข้อจำกัด ความกว้างด้านข้างของ คันทางไม่เพียงพอในการถมดินลาดคันทางให้มีเสถียรภาพ ต้องทำการก่อสร้างกำแพงกันดินบริเวณสองด้านของลาดคันทาง เพื่อป้องกันการพังทลายของดินถมคอสะพาน และทำให้ด้านข้างของคอสะพานสามารถตั้งตรงในแนวดิ่งได้

กำแพงกันดินโดยทั่วไป เป็นกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งต้องทำการก่อสร้างในสนาม ในที่นี้จะกล่าวถึงกำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน ซึ่งเป็นกำแพงกันดินแบบสำเร็จรูป ผลิตชิ้นส่วนในโรงงาน และนำไปติดตั้งในสนาม ลักษณะโครงสร้างดังกล่าว อาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น Reinforced Earth Wall หรือ Mechanically Stabilized Earth Wall หรือ Retained Earth Wall โดยมีหลักการเดียวกันคือ ทำการเสริมกำลังรับน้ำหนักของดินถม เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกำแพงกันดินแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก จะมีจุดเด่นที่ ราคาค่าก่อสร้างถูกกว่า ระยะเวลาในการก่อสร้างน้อยกว่า มีลักษณะโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นตัว (Flexible Structure) ผลงานการก่อสร้างมีความสวยงาม

ข้อมูลเบื้องต้น

- ระดับดินเดิมบริเวณคอสะพาน ในแนวก่อสร้างกำแพงกันดิน
- กำลังรับน้ำหนักของดิน หรือฐานรากที่รองรับกำแพงกันดินและดินถม ขึ้นอยู่กับความสูงของกำแพงกันดิน โดยจะกำหนดในแบบก่อสร้าง ดังนี้

  Maximum Effective Bearing Pressure At The Base Of The Retained Earth Block : Height of Wall = 4.9 m.(Max.), Pressure = 180 kPa(18.35 tons/m^2) ; If Factor of Safety = 2.0 ; Allowable Pressure = 360 kPa(36.70 tons/m^2)
- รายละเอียดที่ต้องนำเสนอ เพื่อขออนุมัติแบบก่อสร้าง
- วัสดุที่นำมาใช้งาน พร้อมรายละเอียดการส่งทดสอบคุณภาพ
- ค่าระดับ บริเวณหลังกำแพงกันดินตลอดแนวการก่อสร้าง
- รายละเอียดงานอื่นๆที่เกี่ยวข้องตามลำดับขั้นของการทำงาน เช่น การวางท่อร้อยสายไฟของเสาไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นต้น

องค์ประกอบของกำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน

การออกแบบกำแพงกันดินในลักษณะนี้ เพื่อกระจายหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในมวลดินไปสู่เหล็กตะแกรงหรือวัสดุอื่นในแต่ละชั้นของการถมดิน โดยเหล็กตะแกรงดังกล่าวทำหน้าที่เป็นสมอยึดกำแพงสำเร็จรูปอีกทางหนึ่ง และแต่ละด้านของกำแพงกันดินจะอิสระต่อกัน วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่มีการเตรียมจาก

โรงงานผลิต ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพได้เป็นอย่างดี และใช้เวลาในการก่อสร้างได้รวดเร็ว รายละเอียดของส่วนประกอบ ที่ใช้ในการก่อสร้างกำแพงกันดินแบบนี้ มีดังนี้

- **แผ่นคอนกรีตกำแพงกันดินสำเร็จรูป (Precast Facing Panels)** โดยทั่วไปมีรูปแบบที่นิยมใช้งานคือ รูปสี่เหลี่ยม และรูปหกเหลี่ยม มีความกว้างประมาณ 1.70 เมตร และมีความคลาดเคลื่อนของขนาด ไม่เกิน ±3 มม. ในแต่ละแผ่นจะมีเหล็กยึด(Dowel Bars) เชื่อมต่อระหว่างแผ่นบนและล่าง บริเวณด้านที่รองรับดินถม จะฝังขอยึด (Clems Connector or Tie Strip) เพื่อยึดกำแพงไว้กับดินถม กำลังของคอนกรีตที่ใช้คือ 350 ksc. (For Cylinder Strength at 28 days)

รูปที่ 1 แผ่นผนังคอนกรีตกำแพงกันดิน (Precast Facing Panels) แบบหกเหลี่ยม

รูปที่ 2 แผ่นผนังคอนกรีตกำแพงกันดิน (Precast Facing Panels) แบบสี่เหลี่ยม

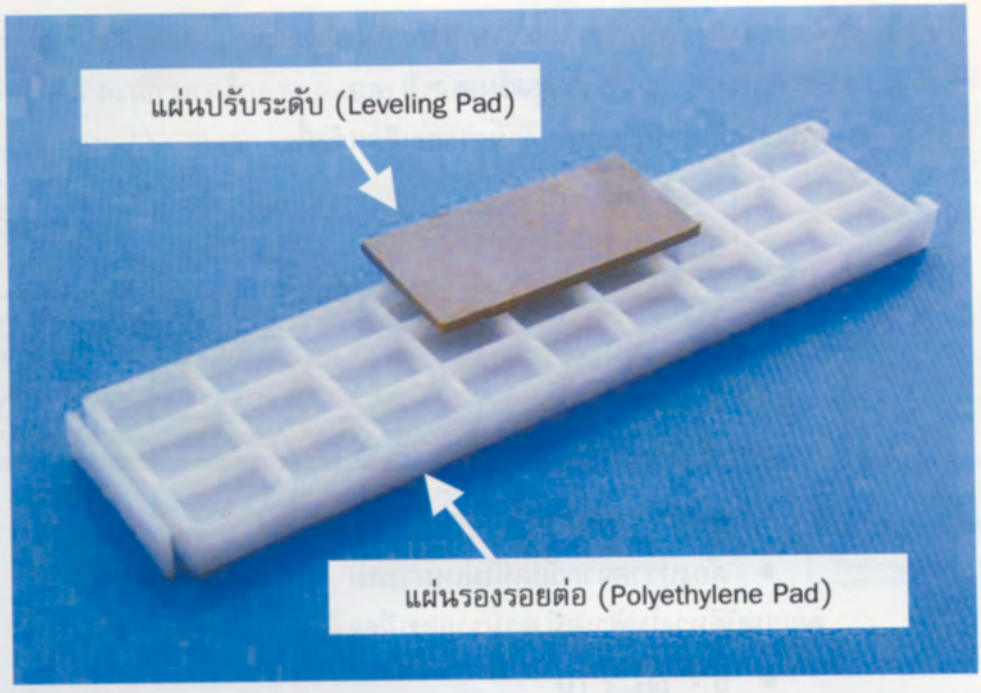
- **เหล็กเสริม (Reinforcing Strips or Mesh)** มีรูปแบบเป็นตะแกรง ขนาด 15 x 30 ซม. ลักษณะเป็นเหล็กข้ออ้อย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. ชุบสังกะสี(Galvanizing) ไม่น้อยกว่า 600 กรัม/ตร.ม. และสามารถรับแรงดึงสูงสุด (Yield Strength) ไม่น้อยกว่า 500 MPa (5100 ksc.) รายละเอียดต่างๆอาจเปลี่ยนแปลงไปตามการออกแบบและได้รับการอนุมัติจากสำนักสำรวจและออกแบบ

รูปที่ 3 แสดงตะแกรงเหล็กเสริมกำลังของดิน (Earth Reinforcing Mesh)

รูปที่ 4 แสดงเหล็กเสริมกำลังของดิน (Earth Reinforcing Mesh)

- **แผ่นรองรอยต่อ (Joint Pad)** เป็นแผ่นรองรับระหว่างแผ่นผนังคอนกรีต เพื่อป้องกันการกระทบกันระหว่างแผ่นคอนกรีต มี 2 แบบคือ

1) แผ่นยางรอง (Rubber Joint Pad) วัสดุทำมาจากยาง ขนาด 100x85 x11.2 มม. ผิวหน้าเป็นร่อง ต้องใช้อย่างน้อย 2 แผ่นต่อ 1 รอยต่อ
2) แผ่นรองพลาสติก (Polyethylene Joint Pad) วัสดุทำมาจาก Polyethylene ขนาด 300x64x20 มม. ต้องใช้อย่างน้อย 2 แผ่นต่อ 1 รอยต่อ



รูปที่ 5 แผ่นรองรอยต่อ (Polyethylene Pad) และแผ่นปรับระดับ (Leveling Pad)

- **วัสดุปิดรอยต่อ (Joint Filter)** มีคุณสมบัติป้องกันไม่ให้วัสดุดินถม (Granular Materials) ไหลหลุดออกบริเวณรอยต่อ โดยยอมให้น้ำไหลผ่านได้ วัสดุดังกล่าวอาจเป็นแผ่นฟองน้ำหรือแผ่นใยสังเคราะห์

รูปที่ 6 แผ่นใยสังเคราะห์ปิดรอยต่อ (Geotextile Joint Filter)

- **วัสดุดินถมในกำแพง** เป็นวัสดุมวลรวมหยาบ (Granular Materials) มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดของ AASHTO 1996 DIVISION II 7.3.6.3

คุณสมบัติทางกายภาพ ตามรายละเอียดดังนี้

- Sieve Analysis

SIEVE SIZE	% PASSING
4	100
No.40	0 – 60
No.200	0 – 15

- Plasticity Index (PI) < 6.0
- Angle of Internal Friction > 34.0
- ต้องปราศจากวัสดุที่ไม่เหมาะสม

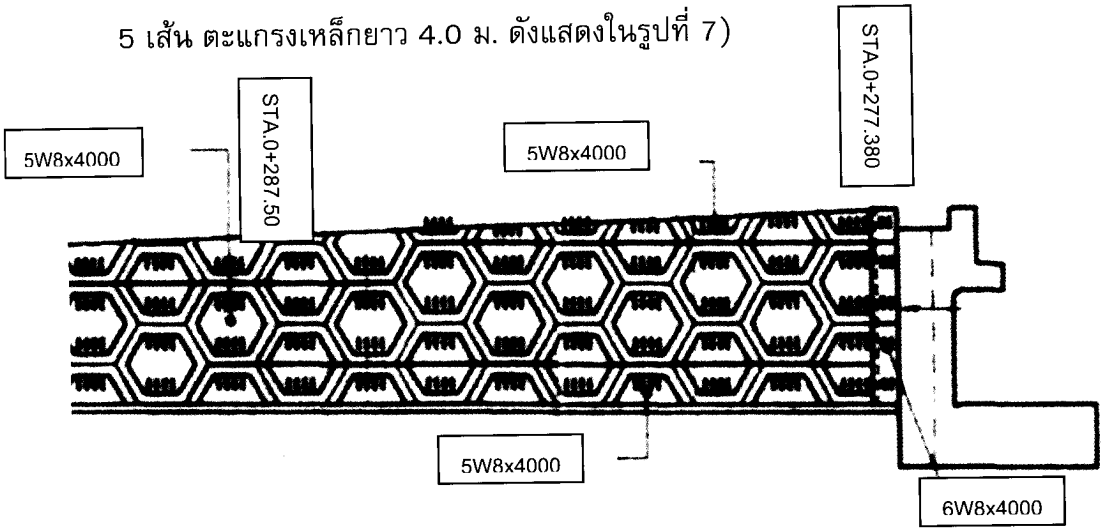
คุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมี ตามรายละเอียดดังนี้

- 5 < pH < 10
- Resistivity > 3,000 ohm. cm.
- Chlorides < 100 ppm.
- Sulfates < 200 ppm.

ก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้าง

- ทำการศึกษาแบบก่อสร้าง, ข้อกำหนด, สัญญา, รายการแนบท้ายสัญญา และเอกสารที่เกี่ยวข้อง
  - ทางผู้รับจ้างเสนอแบบรายละเอียดสำหรับก่อสร้างในสนาม (Shop Drawings) รายการคำนวณ (Calculation Sheets) ผู้ผลิตหรือผู้แทนจำหน่าย (Supplier) และข้อกำหนด (Specification) ให้ทางโครงการตรวจสอบเพื่อเสนอขอความเห็นชอบจากสำนักสำรวจและออกแบบ หรือเป็นไปตามที่แบบกำหนด
  - ฐานของกำแพงฝังอยู่ในดินเดิมไม่น้อยกว่า 10%ของความสูงกำแพง ในกรณีที่ดินเดิมในสนามมีค่าระดับที่แตกต่างกันมาก ซึ่งอาจต้องกำหนดค่าระดับที่ฐานในลักษณะขั้นบันได ให้คำนึงถึงความประหยัดความสวยงาม และส่วนแผ่นผนังคอนกรีตด้านบนสุดทุกแผ่นต้องเป็นไปตาม Profile Grade
- การกำหนดเหล็กเสริมยึดแผ่นผนังคอนกรีต พิจารณาจากแรงกดทับของดินถมภายในกำแพง ซึ่งแปรผันตามความสูงของกำแพง แรงนี้จะขยายตัวออกในแนวตั้งฉากกับกำแพง นั่นคือแนวตะแกรงเหล็กเสริม และเหล็กเสริมนี้จะทำหน้าที่ในการยึดรั้งดินไว้ ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติของดินถมที่มีการเสริมเหล็กเป็น Cohesive Soil จะมีการถ่ายแรงซึ่งกันและกันเพื่อต่อต้านการพังทลายของดิน ดังนั้นการกำหนดเหล็กเสริมจะแบ่งออกเป็นชั้นๆตามช่วงความสูงของกำแพง หากมีความสูงมาก ความยาวและจำนวนเหล็กเสริมในชั้นล่างจะมากขึ้นตามลำดับ(ในแบบ

ก่อสร้าง จะกำหนดการเสริมเหล็กดังนี้ รหัส 5W8x4000 หมายถึง เหล็กขนาด 8 มม.จำนวน 5 เส้น ตะแกรงเหล็กยาว 4.0 ม. ดังแสดงในรูปที่ 7)



รูปที่ 7 แบบก่อสร้างในสนาม กำหนดจำนวนเหล็กเสริม

- ตรวจสอบงานก่อสร้างอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ งานก่อสร้าง Abutment งานเดินสายไฟของเสาไฟฟ้าแสงสว่าง งานระบบระบายน้ำ งานก่อสร้าง Approach Slab งานก่อสร้าง Concrete Barrier งานโครงสร้างชั้นทางบนกำแพงกันดิน เป็นต้น เพื่อกำหนดขั้นตอนการทำงานให้สอดคล้องกัน
- ตรวจสอบแบบหล่อคอนกรีต อุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง
- จัดส่งตัวอย่างของวัสดุที่ต้องทำการทดสอบ ก่อนนำมาใช้งาน

งานหล่อแผ่นผนังคอนกรีตกำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน

- ทำความสะอาดแบบเหล็ก พร้อมทาน้ำมัน
- ตรวจสอบจำนวน ขนาด ตำแหน่ง ระยะห่าง ของเหล็กเสริม
- ตรวจสอบ ขนาด มิติ ของผนัง และเหล็กยึด (Dowel Bars) ตามแบบในสนาม (Shop Drawings) ที่กำหนดไว้ ซึ่งอาจเป็นแผ่นเต็ม หรือแผ่นไม่เต็ม ตามรหัสที่แตกต่างกัน
- ทำการวางแบบให้อยู่ในแนวราบ พร้อมประกอบแบบตามรูปร่างที่กำหนดไว้
- ยกแผงเหล็กเสริมลงในแบบ โดยจัดวางตำแหน่งเหล็กให้ได้ระยะหุ้มคอนกรีตไม่น้อยกว่า 5 ซม.หรือเป็นไปตามที่แบบกำหนด

รูปที่ 8 แบบหล่อแผ่นผนังคอนกรีตตามที่กำหนดในแบบก่อสร้างในสนาม

รูปที่ 9 แบบหล่อแผ่นผนังคอนกรีต ในกรณีครึ่งแผ่น

- ติดตั้งเหล็กสมอยึดระหว่างแผ่นคอนกรีต และเหล็กสำหรับยกแผ่นคอนกรีตตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ในแบบ
- ตรวจสอบความถูกต้องขั้นตอนสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต ตรวจสอบความแข็งแรงของการยึดแบบและขนาดต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±3 มม.

รูปที่ 10 ตำแหน่งการติดตั้งสมอยึดระหว่างแผ่นผนังคอนกรีต

- ในการเทคอนกรีต เจ้าหน้าที่ฝ่ายควบคุมวัสดุต้องควบคุมคุณภาพของคอนกรีตตามส่วนผสมที่กำหนดในแบบ โดยค่าการยุบตัว(Slump) ไม่ควรเกิน 6 ซม.หรือตามที่แบบกำหนด
- ระหว่างการเทคอนกรีต ต้องใช้เครื่องสั่นสะเทือนคอนกรีต เพื่อทำให้คอนกรีตแน่นตัว

รูปที่ 11 การเทคอนกรีตในแบบหล่อ

- ทุกครั้งที่เทคอนกรีต เจ้าหน้าที่ฝ่ายควบคุมวัสดุต้องทำการเก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีต สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัด จำนวนอย่างน้อย 1 ชุด
- จดบันทึก ค่าการยุบตัว(Slump) เวลาเริ่มผสม เวลาที่เท และปริมาณคอนกรีตที่ใช้ตามแบบฟอร์มที่กำหนด
- เมื่อทำการเทคอนกรีตจนแล้วเสร็จ ต้องทำการติดตั้งสมอยึดรั้งแผงตะแกรงเหล็กเสริมตามตำแหน่ง ที่กำหนดในแบบในทันที
- ทำการตกแต่งผิวคอนกรีต พร้อมเขียนรายละเอียด ประกอบด้วย หมายเลขประจำแผ่น วัน เดือน ปี ที่หล่อ และตำแหน่งที่ใช้งาน พร้อมทำการบ่มคอนกรีต
- เมื่อเทคอนกรีตแล้วเสร็จ คอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที
- ภายหลัง การถอดแบบหล่อ ให้ทำการตรวจสอบผิวคอนกรีตและขนาด ให้เป็นไปตามแบบก่อสร้าง
- นำชิ้นส่วนที่แล้วเสร็จพร้อมใช้งาน จัดวางอย่างเป็นระบบให้สามารถนำมาใช้งานตามลำดับก่อนหลัง

รูปที่ 12 การติดตั้งสมอยึดรั้งแผงตะแกรงเหล็กเสริม

รูปที่ 13 การเขียนรายละเอียดบนแผ่นผนังคอนกรีต

งานติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตกำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน

การก่อสร้างฐานวางแผ่นผนังคอนกรีต

- ตรวจสอบแนวดิ่งของผนัง Abutment หากมีความคลาดเคลื่อน ให้ทำการแก้ไขก่อนการติดตั้ง
- วางแนวที่จะทำการก่อสร้างฐานวางแผ่นผนังคอนกรีต และขุดให้ต่ำกว่าระดับของฐานกำแพงที่กำหนดในแบบประมาณ 0.25 ม.กว้างประมาณ 1.00 ม.
- ลงทรายปรับระดับหนา 0.10 ม.กว้าง 0.40 ม.พร้อมบดอัด
- เทคอนกรีตหยาบ หนา 0.15 ม.กว้าง 0.30 ม. ตามระดับที่กำหนด แต่งผิวหน้าให้เรียบ
- เมื่อคอนกรีตหยาบแข็งตัว ให้วางแนวริมด้านนอกของแผ่นผนังคอนกรีต พร้อมกำหนดแนวให้ชัดเจน

รูปที่ 14 การก่อสร้างฐานวางแผ่นผนังคอนกรีต

ขั้นตอนการติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีต

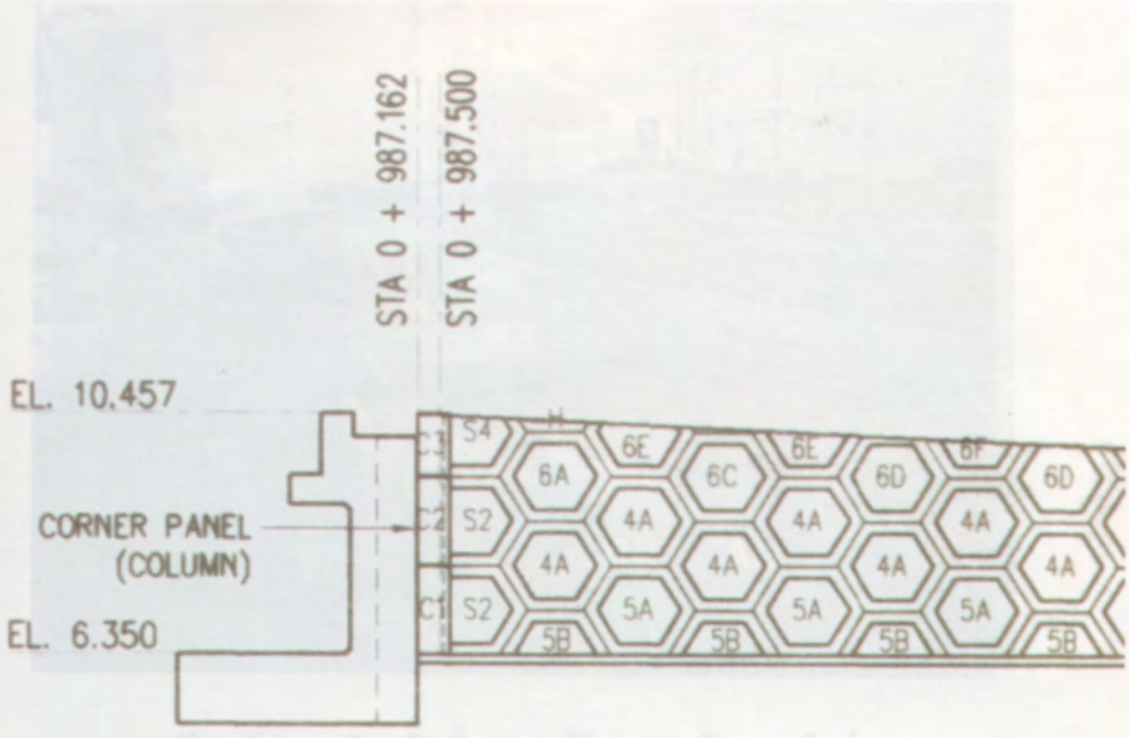
- ลำเลียงแผ่นผนังคอนกรีตจากโรงงาน จัดวางในสนามให้ตรงกับตำแหน่ง ตามหมายเลขประจำแผ่นที่กำหนด
- ตรวจสอบรายละเอียดของแผ่นคอนกรีตอีกครั้ง หากพบความเสียหายให้แก้ไขก่อนนำไปใช้งาน
- การวางแผ่นผนังคอนกรีต เมื่อติดตั้งแล้ว ต้องตรวจสอบช่องว่างระหว่างแผ่นให้ชิดและมีระยะห่างโดยรอบสม่ำเสมอ ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 มม.
- การวางแผ่นผนังคอนกรีต แนวขอบด้านนอกต้องได้ตามแนวที่กำหนด ต้องปรับให้แผ่นผนังคอนกรีตอยู่ในแนวราบและแนวดิ่งเสมอ โดยการใช้แผ่นปรับระดับ

รูปที่ 15 การจัดวางแผ่นผนังคอนกรีตตามหมายเลขประจำแผ่น

รูปที่ 16 การติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตให้ชิด

รูปที่ 17 การปรับแผ่นผนังคอนกรีตให้ได้ แนว ระนาบ และแนวดิ่ง

- เริ่มการติดตั้ง นำชิ้นส่วนมุม แผ่นผนังคอนกรีต(Corner Panel) รหัส C1 แนบเข้ากับมุมของผนัง Abutment ทำการวัดระยะ เว้นช่องว่างเท่ากับแผ่นรหัส S2 และ 5B กำหนดจุดมุมแผ่นทั้งสอง จากนั้น ติดตั้งแผ่นหัส 5B ตามจุดที่กำหนด และติดตั้งแผ่นรหัส S2 ที่ช่องว่างระหว่างแผ่นรหัส C1 กับ 5B
- ทำการวัดระยะ เว้นช่องว่างระหว่างแผ่นรหัส 5B ที่ติดตั้งแล้วเสร็จ และ 5B .ใหม่ เท่ากับความกว้างของแผ่นรหัส 5A จากนั้น ติดตั้งแผ่นรหัส 5B ตามจุดที่กำหนด และติดตั้งแผ่นรหัส 5A ที่ช่องว่างระหว่างแผ่นรหัส 5B กับ 5B
- ติดตั้งตามข้อดังกล่าวข้างต้นซ้ำ ระหว่างแผ่นรหัส 5A และ 5B จนกระทั่งถึงจุดสิ้นสุดของชั้นแรก
- ภายหลังแล้วเสร็จการติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตในแต่ละชั้น ให้ติดตั้งอุปกรณ์ยึดระหว่างแผ่นผนังคอนกรีต พร้อมค้ำยันด้านนอกกำแพง และตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของค้ำยัน



รูปที่ 18 แบบกำหนดตำแหน่งการวางแผ่นผนังคอนกรีต ตามรหัส

รูปที่ 19 ลำดับการก่อสร้างเริ่มต้นจากมุมของ Abutment

รูปที่ 20 การกำหนดช่องว่างการวางแผ่นผนังคอนกรีตรหัส 5B

รูปที่ 21 การติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตรหัส 5A

รูปที่ 22 การติดตั้งอุปกรณ์ยึดแผ่นผนังคอนกรีต

รูปที่ 23 การติดตั้งอุปกรณ์ค้ำยันแผ่นผนังคอนกรีต

- ติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile)บริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นผนังคอนกรีต และบริเวณด้านริมของผนัง Abutment ให้ยึดติดแน่นกับแผ่นผนังคอนกรีต

รูปที่ 24 การติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ ปิดรอยต่อระหว่างแผ่นผนังคอนกรีต

รูปที่ 25 การติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ ปิดรูระบายน้ำของผนัง Abutment

- ลงวัสดุดินถมในกำแพงพร้อมบดอัด หนาประมาณชั้นละ 0.20 ม. บริเวณห่างจากกำแพงด้านในข้างละ 0.50 ม.ห้ามใช้เครื่องจักรหนักในการบดอัด ให้ใช้เครื่องบดอัดดินขนาดเล็กให้ได้ความแน่นตามข้อกำหนด ดำเนินการจนกระทั่งถึงระดับสมอยึดตะแกรงเหล็กเสริมรับแรงดึง ส่วนด้านนอกกำแพง ให้ลงวัสดุดินถมบริเวณที่ขุดพร้อมบดอัดถึงระดับดินเดิม

รูปที่ 26 การลงวัสดุดินถม (Granular Materials)

รูปที่ 27 เครื่องมือบดอัดดินด้านข้างกำแพง

- บริเวณรูระบายน้ำของ Abutment ถมด้วยวัสดุ Porous Backfill พร้อมบดอัดให้ได้ความแน่นตามข้อกำหนด
- ทำการติดตั้งเหล็กตะแกรง ตามจำนวนสมอยึดที่แผ่นผนังคอนกรีต ทำการใส่สลักยึดต่อเข้าด้วยกัน

รูปที่ 28 การติดตั้งตะแกรงเหล็กในแต่ละชั้น ตามแบบก่อสร้าง

รูปที่ 29 การติดตั้งตะแกรงเหล็กบริเวณมุม Abutment ตามแบบ

- หลังจากลงวัสดุดินถมแล้วเสร็จ เริ่มการติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตชั้นต่อไป ก่อนติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีต ให้วางแผ่นรองรอยต่อ(Polyethylene Pad) รองระหว่างแผ่นผนังคอนกรีต จำนวนอย่างน้อย 2 แผ่นที่ด้านปลายของแผ่นผนังคอนกรีต จากนั้นจึงวางแผ่นผนังคอนกรีตทับซ้อนด้านบน

รูปที่ 30 การติดตั้งแผ่นรองรอยต่อ (Polyethylene Pad) ระหว่างแผ่นผนังคอนกรีตชั้นล่างและชั้นบน

งานก่อสร้าง Concrete Barrier บนกำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน

ในกรณีผิวลาดยาง

- ก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางจนถึงชั้นรองพื้นทาง (Subbase)
- ก่อสร้าง Concrete Approach Slab
- ก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางจนถึงชั้นหินคลุก (Base)
- ก่อสร้างสมอคอนกรีตสำหรับยึด Concrete Barrier โดยการขุดหลุม ทุกระยะ 1.50 ม. มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 ม. ลึก 0.50 ม. เทคอนกรีตในหลุม ฝังเหล็กสมอข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. ยาว 0.80 ม.ฝังลึก 0.40 ม. สำหรับเชื่อมต่อกับเหล็กโครงสร้างราวสะพาน
- ตรวจสอบค่าระดับ และความกว้างถนนตามที่กำหนดไว้ในแบบ ปูทับบนหลังกำแพงกันดินด้วยแผ่นพลาสติกความหนา 0.3 มม. ดำเนินการก่อสร้าง Concrete Barrier บนกำแพงกันดินต่อไป
- ทำการ Tack Coat บริเวณรอยต่อของ Concrete Barrier กับ ผิวลาดยาง ต้องบดอัดผิวลาดยางบริเวณริม Concrete Barrier ให้แน่นเพื่อป้องกันน้ำซึมลงไปทำลายโครงสร้างชั้นทาง

รูปที่ 31 การก่อสร้างผิวทางลาดยาง บนโครงสร้างกำแพงกันดิน

ในกรณีผิวคอนกรีต

- ก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางจนถึงชั้นลูกรัง (Subbase) และชั้นทรายระบายน้ำ(Sand Cushion)
- ก่อสร้าง Concrete Approach Slab
- ก่อสร้างผิวทางคอนกรีต โดย ตรวจสอบค่าระดับและความกว้างถนนให้เป็นไปตามแบบ

รูปที่ 32 การก่อสร้างผิวทางคอนกรีต บนโครงสร้างกำแพงกันดิน

- ก่อสร้างสมอคอนกรีตสำหรับยึด Concrete Barrier โดยการขุดหลุม ทุกระยะ 1.50 ม. มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 ม. ลึก 0.50 ม. เทคอนกรีตในหลุม ฝังเหล็กสมอข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. ยาว 0.80 ม.ฝังลึก 0.40 ม. สำหรับเชื่อมต่อกับเหล็กโครงสร้างราวสะพาน

รูปที่ 33 การก่อสร้างสมอคอนกรีตสำหรับยึด Concrete Barrier

- ปูทับบนหลังกำแพงกันดินด้วยแผ่นพลาสติกความหนา 0.3 มม. ดำเนินการก่อสร้าง Concrete Barrier บนกำแพงกันดินต่อไป
- ทำการหยอดยาง รอยต่อ Dummy Joint บริเวณรอยต่อระหว่าง Concrete Barrier กับ Concrete Pavement ตลอดแนว เพื่อป้องกันมิให้น้ำซึมลงไปทำลายโครงสร้างชั้นรองพื้นทาง

ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

ปัญหา : น้ำบนผิวทางอาจซึมผ่านรอยต่อระหว่างผิวลาดยาง กับ Concrete Barrier ทำให้โครงสร้างชั้นทางเกิดความเสียหาย

แนวทางป้องกันแก้ไข :

1. ควรก่อสร้าง Dummy Joint บริเวณรอยต่อของผิวลาดยางและ Concrete Barrier
2. ผิวทางคอนกรีต และก่อสร้าง Dummy Joint บริเวณรอยต่อของผิวคอนกรีตและ Concrete Barrier

รูปที่ 34 การแยกตัวของรอยต่อระหว่างผิวลาดยาง กับ Concrete Barrier

รูปที่ 35 การรื้อเพื่อซ่อมแซมโครงสร้างชั้นทาง

รูปที่ 36 การก่อสร้างแล้วเสร็จตามแบบ

เอกสารอ้างอิง

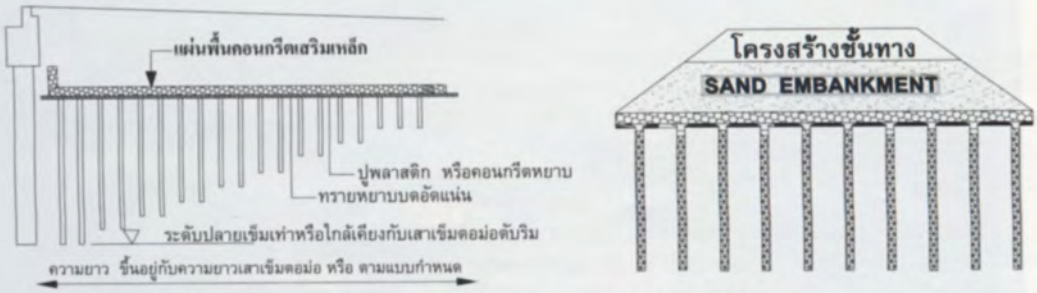
1. Colin J.F.P. Jones, Earth Reinforcement and Soil structures, Butterworths Advanced Series in Geotechincal Engineering, 1985
2. Manfred R. Hansmann , Engineering Principle of Ground Modification, Mc Graw - Hill Publishing Company , 1990
3. T.S. Ingold, Reinforced Earth, Thomas Telford Ltd, London, 1982
4. Reinforced Earth (S.E.A.) Pte Ltd, Reinforced Earth and Retaining Walls,1996
5. Reinforced Earth (S.E.A.) Pte Ltd, Reinforced Earth and Bridge Abutment,1996
6. เสรี สุงาม, Reinforced Earth Wall, ศูนย์สร้างและบูรณะสะพานที่ 2, สำนักก่อสร้างสะพาน, กรมทางหลวง, 2541
7. แบบมาตรฐานกรมทางหลวง, กระทรวงคมนาคม .2538
8. แบบก่อสร้างโครงการก่อสร้างสะพานข้ามทางรถไฟและทางแยกเข้าราชบุรี ตอน 1 และ 2, กรมทางหลวง, 2546

Bearing Unit

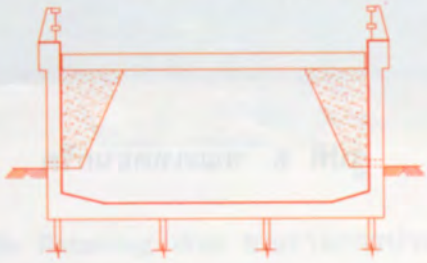
บทนำ

เป็นโครงสร้างที่ต่อจากตอม่อริมของสะพาน (Abutment) หรือ Bridge Approach Structure วัตถุประสงค์ของ Bearing Unit เพื่อรองรับโครงสร้างทางบริเวณคอสะพานที่อยู่บนดินอ่อนให้มีการทรุดตัวในลักษณะลาดลงอย่างช้าๆ มีผลช่วยลดการกระแทกของยานพาหนะที่บริเวณคอสะพาน นอกจากนั้นยังช่วยลดการพังทลายแบบเลื่อนไถล (Slide Failure) ที่เกิดจากกรณีดินถมคอสะพานสูงเกินความสูงวิกฤต (Critical Height) โดยทั่วไประดับพื้นของ Bearing Unit อยู่ที่ระดับดินเดิมและอยู่ในระนาบราบ ความยาวเสาเข็มรองรับ Bearing Unit สองแถวแรกมีความยาวเท่ากับหรือน้อยกว่าความยาวของเสาเข็มตอม่อตับริมไม่เกิน 2 เมตร หรือตามแบบกำหนด ความยาวเสาเข็มแถวถัดไปจะลดลงตามแบบกำหนด ความกว้างของพื้น Bearing Unit กว้างเท่ากับความกว้างของลาดคันทาง (Toe Slope) ในกรณีที่มีกำแพงกันดิน (*Bearing Unit with Retaining Wall*) *ความกว้างของ Bearing Unit มักกว้างเท่ากับความ*กว้างของสะพาน ประโยชน์ของกำแพงกันดินนี้ช่วยในการกันพื้นที่ด้านข้างสะพานทำเป็นถนน หรือ กรณีที่มีเขตทางจำกัด

รูปที่ 1 แบบแปลนแสดงตำแหน่งเสาเข็ม
กรณีคอสะพานตั้งฉากกับแนวทางและทำมุมเฉียงกับแนวทาง



รูปที่ 2 รูปตัดตามยาว และรูปตัดตามขวาง



รูปที่ 3 รูปตัดตามขวางของ Bearing Unit with Retaining Wall

รูปที่ 4 ขั้นตอนงานเสริมเหล็ก

รูปที่ 5 ขณะเทคอนกรีต

รูปที่ 6 Bearing Unit with Retaining Wall
ที่กำลังก่อสร้างในเขตที่มีการจราจรหนาแน่น และเขตทางจำกัด

รูปที่ 7 Bearing Unit with Retaining Wall ขณะรอการประกอบแบบกำแพงด้านข้าง

ข้อมูลเบื้องต้น

- รายละเอียดข้อมูลชั้นดินจากการเจาะสำรวจในสนาม(Boring Log) และผลการทดสอบคุณสมบัติทางปฐพีวิศวกรรม
- ความยาวเสาเข็มของตอม่อตับริม ค่าระดับพื้นของ Bearing Unit เพื่อกำหนดความยาวกลุ่มเสาเข็มของ Bearing Unit และความยาว Bearing Unit
- เสาเข็มที่มีความยาวมากกว่า 19.00 เมตร ให้ใช้เสาเข็มขนาด 26x26 ซม. หรือตามแบบกำหนด และในกรณีที่เสาเข็มขนาด 26x26 ซม. ยาวเกิน 21.00 เมตร ให้เป็นไปตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง
- อาจใช้เสาเข็มเจาะแทนเสาเข็มตอกได้ โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักเจ้าของงาน

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องจักรในการดำเนินการตอกเสาเข็มประกอบด้วยปั้นจั่น รถขุด(Back Hoe) รถยก(Crane) รถขนย้ายเสาเข็ม หรือเครื่องจักรในการดำเนินการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ
- เครื่องจักรและอุปกรณ์เทคอนกรีต เช่น รถยก(Crane) ถังปล่อยคอนกรีต(Bucket)อุปกรณ์ช่วยในการเทคอนกรีต ฯลฯ
- อุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักรสำหรับ ตัด ดัด ขัดสนิมเหล็กเสริม
- วัสดุและอุปกรณ์ในการบ่มคอนกรีต

ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

- ศึกษารูปแบบการก่อสร้าง และจัดทำแบบรายละเอียดเพื่อการก่อสร้าง (Shop Drawing)
- ปรับพื้นที่เพื่อเตรียมการก่อสร้าง
- ตรวจสอบหมุดหลักฐาน และกำหนดผังตำแหน่งเสาเข็ม

ขั้นตอนการก่อสร้าง

- ตอกเสาเข็มให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด (Shop Drawing) โดยมีลำดับการต่อเริ่มจากเสาเข็มแถวที่ติดกับตอม่อตับริมก่อน ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของเสาเข็มของตอม่อตับริม
- ตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างของเสาเข็มที่จะใช้ตอก
- กรณีใช้เสาเข็มสองท่อนต่อกัน การเชื่อมต่อของเสาเข็มท่อนล่างและท่อนบนต้องจัดให้เสาเข็มอยู่ในแนวเดียวกันและเป็นไปตามข้อกำหนด
- บดอัดทรายรองพื้นจนแน่นและได้ระดับตามแบบกำหนด
- ผูกเหล็กเสริมพื้น (Slab) ตามแบบรายละเอียด
- เข้าแบบด้านข้างของพื้นให้ได้ความหนาและระดับตามแบบรายละเอียด
- กรณีเป็น Bearing Unit with Retaining Wall ต้องเตรียมการและตรวจสอบขนาด ตำแหน่งของเหล็กเสริมกำแพงให้เป็นไปตามแบบรายละเอียด

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม หากใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready - Mixed Concrete) ต้องทำการทดสอบเทียบ (Calibrate) เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้ ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Concrete Mix Design) และทำการทดสอบกำลังรับอัดแรงของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต เช่น ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทรายน้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion) ความสะอาดของหินหรือกรวด ทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบแบบหล่อให้ได้ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ มีความแข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้
- ตรวจชนิด ขนาด จำนวน ระยะห่าง ระยะทาบ ตำแหน่งการทาบ ความสะอาดและ ไม่มีสนิมขุมของเหล็กเสริม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและข้อกำหนด
- ตรวจระยะหุ้ม (Covering) ให้ตรงตามข้อกำหนด เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง (Bar Chair) รองรับให้แข็งแรงไม่ทรุด
- จัดเตรียมคนงานและช่างฝีมือ เครื่องมืออุปกรณ์ ในการเทคอนกรีต ให้เพียงพอกับลักษณะงานและปริมาณงาน
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้าย ก่อนเทคอนกรีตและต้องเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต
- กรณีไม่มีแผ่นพลาสติกปูทับบนทรายรองพื้น ให้รดน้ำจนทรายรองพื้นเปียกชุ่มก่อนเทคอนกรีต

งานเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากช่างผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามข้อกำหนดหรืออัตราส่วนผสมที่ได้รับความเห็นชอบ หากใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready-Mixed Concrete) ให้ควบคุมเวลาในการผสมให้เหมาะสม โดยต้องไม่น้อยกว่า 2 นาที
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ตรวจสอบการขนส่งคอนกรีตจากรถขนส่งไปยังจุดที่ต้องการเท โดยไม่ให้เกิดการแยกตัว ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยในการเทคอนกรีตเพื่อป้องกันการแยกตัว ในกรณีที่ระยะปล่อยคอนกรีตสูงเกินกว่า 2.00 เมตร
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเท และเป็นไปตามข้อกำหนด

- ตรวจสอบควบคุมให้มีการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Vibrator) อย่างถูกวิธี
- ขณะเทคอนกรีต ให้เก็บแท่งคอนกรีตตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลังแรงอัด
- ตรวจสอบความพร้อมของผู้ปฏิบัติงาน และสภาพของเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ให้มีจำนวนเพียงพอ และใช้งานได้ดี
- ก่อนเทคอนกรีตใหม่เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้ง ให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน พร้อมกับทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูนและน้ำยาประสานคอนกรีตบนผิวบริเวณที่เตรียมไว้ แล้วเทคอนกรีตใหม่ทันที
- ขณะที่เทคอนกรีตต้องคอยตรวจสอบตำแหน่งของเหล็กเสริมไม่ให้มีการเคลื่อนที่
- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที
- ในกรณี Bearing Unit with Retaining Wall ให้กำหนดความสูงในการเทคอนกรีตกำแพงแต่ละชั้นให้เหมาะสม และต้องเทต่อเนื่องจนแล้วเสร็จ

งานหลังเทคอนกรีต

- การถอดแบบอนุญาตให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตครบอายุ 2 วัน ในกรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด ผลการทดลองความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้นต้องไม่น้อยกว่าค่าความต้านแรงอัดที่ 28 วัน
- เมื่อถอดแบบแล้ว หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีต ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อนายช่างควบคุมงานโดยทันที
- ตรวจสอบผลการทดลองความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด หากผลการทดลองไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ให้ผู้ควบคุมงานรายงานสำนักเจ้าของงานทราบโดยทันที

การหล่อ Pre-Cast Segment

บทนำ

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

ข้อมูลเบื้องต้น

- ค่าระดับ Profile ของสะพานเพื่อกำหนดค่าระดับที่ Segment
- วัสดุที่นำมาใช้งานเป็นไปตามข้อกำหนดในแบบและผ่านการทดสอบคุณภาพ
- รูปแบบรายละเอียดและตำแหน่งของ Segment เช่น End Segment, Pier Segment, Deviator

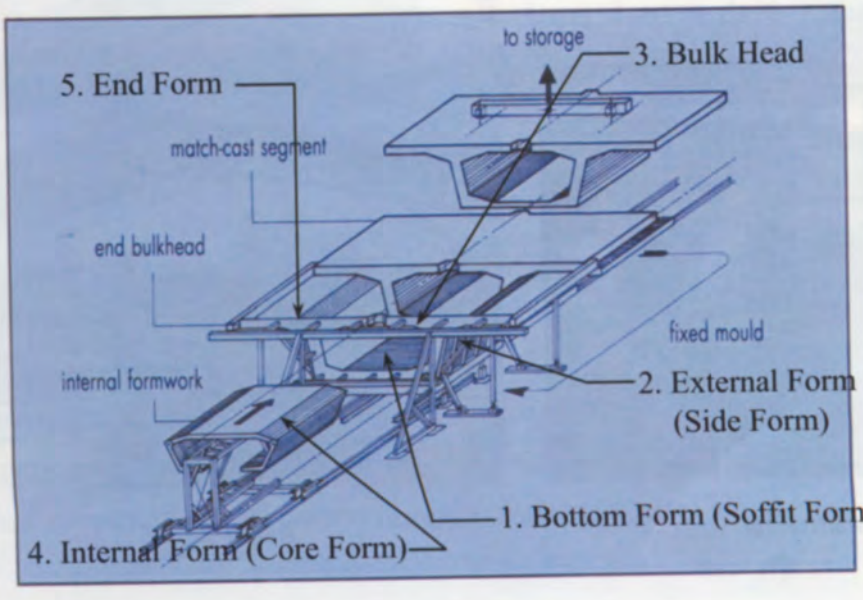
เครื่องมือและอุปกรณ์

- พื้นที่สำหรับหล่อ Segment Yard ที่มีหลังคาคลุม
- Plat Form สำหรับการสำรวจ เช่น กล้องแนว กล้องระดับ ไม้ Staff พร้อมเครื่องมือและอุปกรณ์
- เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับระบบอัดแรง (Post-tensioning) และ Grout น้ำปูน
- Tower crane, Mobile crane, Shuttle lift

Pre-cast Segment

ส่วนประกอบของแบบหล่อ Segment

เนื่องจากการหล่อ Segment หล่อแบบ Match-cast จำเป็นต้องควบคุมแนว, ระดับให้ถูกต้องหากมีความเคลื่อนเมื่อนำ Segment มาเรียงต่อกันจะทำให้เกิดรอยต่อไม่แนบสนิท เมื่อทำการอัดแรงอาจทำให้เกิดการแตกร้าวบริเวณรอยต่อได้ จึงต้องมีความเข้าใจในกระบวนการติดตั้งแบบหล่อ Segment และหน้าที่ของชิ้นส่วนนั้นๆ เป็นอย่างดี



ส่วนประกอบของแบบหล่อ Segment

1. แบบหล่อด้านล่าง (Bottom Form)
2. แบบด้านนอก (External Form)
3. แบบปิดท้าย (Bulk Form)
4. แบบด้านใน (Internal Form)
5. แบบปิดด้านข้าง (End Form)

ขั้นตอนงานหล่อ Segment

1) เตรียมโครงเหล็กเสริม (Rebar cage)
2) ติดตั้งแบบหล่อด้านล่าง (Bottom Form) – ตรวจสอบค่าระดับ
3) ตรวจสอบระดับและแนวของ Match Cast
4) ตรวจสอบตำแหน่งแนว และค่าระดับของแบบปิดท้าย (Bulkhead)
5) ติดตั้งแบบด้านนอก (External Form)
6) ติดตั้งแบบปิดด้านข้าง (End Form)
7) นำโครงเหล็กเสริมเข้าติดตั้ง
8) ติดตั้งแบบด้านใน (Inner Form)
9) จัดตำแหน่งเหล็กเสริมและตำแหน่งท่อร้อยลวดอัดแรง
10) งานคอนกรีต (Concrete work)
11) บ่มคอนกรีต (Curing)
12) ดึงลวดอัดแรงตามแนวขวาง (Transveral Tendon prestressing)
13) เคลื่อนย้าย Old Segment จัดเรียงเก็บ (Stock)

1. เตรียมเหล็กเสริม ตามขนาด และความยาวต่างๆ ที่ระบุไว้ใน Shop Drawings และกองเก็บไว้เพื่อนำไปประกอบเป็นโครงเหล็กเสริมของ Segment ใน Rebar Jig ซึ่งการกองเก็บนี้ต้องทำในพื้นที่ที่มีหลังคา หรือผ้าใบคลุมเพื่อป้องกันฝน หลังจากนั้นจะยกชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นรูป Segment ใน Rebar Jig เข้าในแบบหล่อโดย Tower crane

โรงดัดเหล็กเสริม

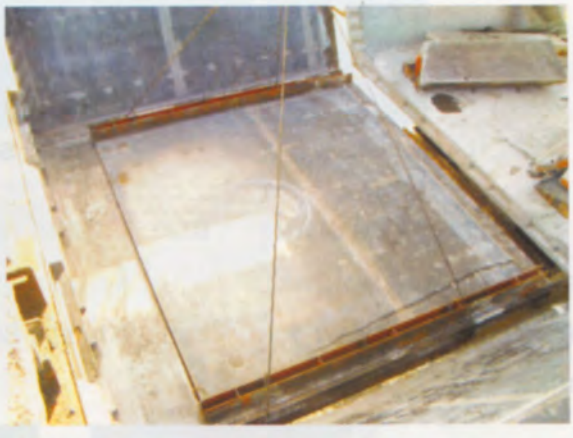
Rebar Jig

สำหรับลวดอัดแรงและอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ของ Post Tensioning System ก็ได้รับการจัดวางในขั้นตอนนี้เช่นกัน เพียงแต่เป็นลักษณะชั่วคราวเท่านั้น

2. ติดตั้งแบบหล่อด้านล่าง (Bottom Form) กระบวนการผลิตโดยวิธี Short Line Match Casting Method ใช้การสลับตำแหน่งของ Segment เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนเปลี่ยนตำแหน่ง โดยนำ Segmentที่หล่อแล้วเสร็จมาทำหน้าที่เป็นแบบให้กับ Segment ตัวใหม่

New Segment ย้ายมาอยู่ในตำแหน่ง Match Cast

Bottom Form ของ Old Segment



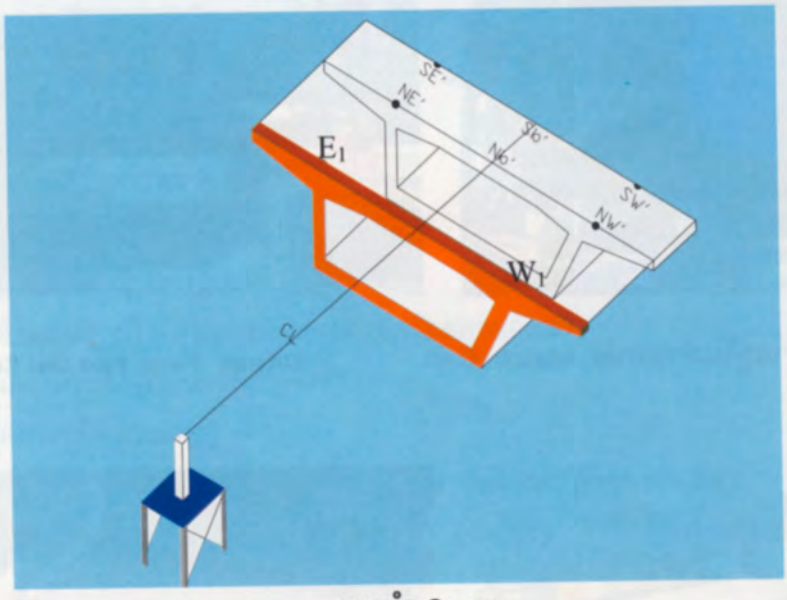
ยก Bottom Form เข้าติดตั้งให้ New Segment ตัวใหม่

ย้าย 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 มม.

3. 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 โดยสมมุติว่าจุดทั้ง 6 จุด บน Deck Slab นี้ไม่ได้รับผลกระทบจากการโก่งตัว อันเนื่องมาจากการดึงลวดอัดแรงตามขวาง หรือการหดตัวของคอนกรีต

ความละเอียดของค่าระดับควรวัดได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร เมื่อจุดควบคุมต่างๆ อยู่ในระดับที่ต้องการแล้วต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่า Hydraulic Jack ทั้งหมด ได้ถูกยึดแน่นไว้อย่างดีด้วยแหวนล็อคและจะไม่เกิดการทรุดตัวของ Segment และต้องตรวจสอบแนว Center Line อีกครั้ง ความคลาดเคลื่อนของค่าระดับไม่เกิน 0.5 มม.



การทำ Survey

4. ตรวจสอบตำแหน่ง แนว และค่าระดับ ของแบบปิดท้าย (Bulkhead) แบบปิดท้าย (Bulkhead) เป็นชิ้นส่วนที่ติดตั้งให้อยู่กับที่ ซึ่งไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ก่อนทำการหล่อ Wet Segment แต่ละครั้งต้องตรวจสอบแนว ระดับ และตำแหน่งของ Bulkhead ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากการหล่อในครั้งก่อน

Bulkhead

ตรวจสอบตำแหน่ง, แนว และ ค่าระดับ

5. การติดตั้งแบบด้านนอก (External Form หรือ Side Form) แบบด้านนอกหรือ External Form ติดตั้งอยู่ด้านข้างทั้งสองด้าน 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 และอุดช่องว่างด้วยซิลิโคนเพื่อป้องกันการรั่วไหลของน้ำปูน ขณะเทคอนกรีต

ภายหลังการจัดตำแหน่ง External Form เรียบร้อยแล้ว จะทำการยึดล็อคตำแหน่งอุปกรณ์ชุดปรับให้มั่นคงแข็งแรง และให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดการทรุดตัว

ปรับ External Form ลงเพื่อเลื่อน New Segment ออกมา

ปรับ External Form ประกบ Old Segment ให้สนิท

อุดช่องว่างด้วย ซิลิโคน ป้องกันน้ำปูนไหลขณะเทคอนกรีต

6. ติดตั้งแบบปิดด้านข้าง (End Form) นำแบบปิดด้านข้างเข้าประกอบพร้อมกับตรวจสอบให้ได้แนว และตำแหน่งความกว้างของ Segment ให้ถูกต้อง

แบบปิดด้านข้าง (End Form)

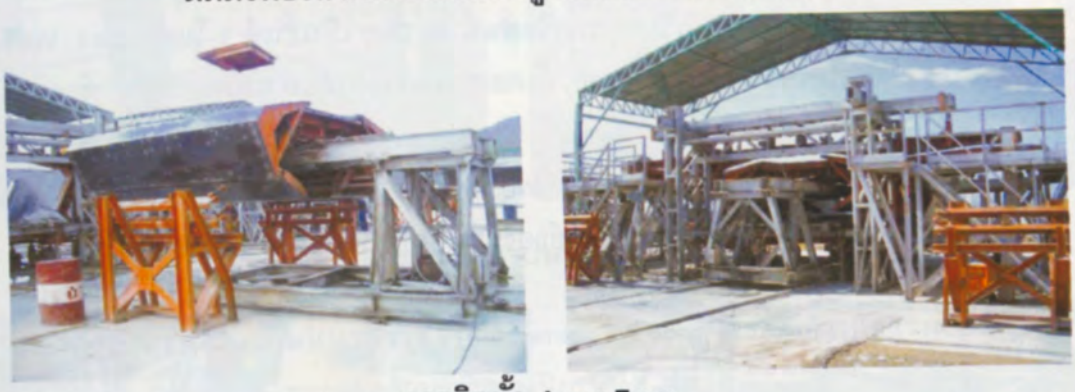
7. นำโครงเหล็กเสริมเข้าติดตั้ง ยกโครงเหล็กเสริม (Rebar Cage) จาก Rebar Jig เข้าติดตั้งในแบบที่จัดเตรียมไว้ โดยต้องระมัดระวังไม่ให้โครงเหล็กเสริมเสียหาย

การนำโครงเหล็กเสริมเข้าติดตั้ง

8. ติดตั้งแบบด้านใน (Inner Form) แบบด้านในหรือ Inner Form นี้ จะต้องติดตั้งไว้บนรางเลื่อน สามารถเคลื่อนเข้า-ออก บริเวณแกนกลางของ Segment ได้ การเลื่อน Inner Form เข้าที่จะกระทำในขณะที่ Tower Crane กำลังยกเหล็กเสริม

ก่อนการติดตั้ง Inner Form ต้องติดแถบฟองน้ำบน Match Cast (New Segment) ตรงบริเวณที่ซ้อนทับกับแบบหล่อ เพื่อป้องกันน้ำปูนไหลออกขณะเทคอนกรีต

ติดตั้งฟองน้ำเพื่อป้องกันน้ำปูนไหลออกขณะเทคอนกรีต



การติดตั้ง Inner Form

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)

9. เหล็กเสริมและตำแหน่งท่อร้อยลวดอัดแรงต้องมั่นคงแข็งแรง เมื่อวางโครงเหล็กเสริมในแบบหล่อเรียบร้อยแล้ว ต้องจัดตำแหน่งเหล็กเสริม และท่อร้อยลวดอัดแรงโดยผูกยึดแข็งแรงแล้วพันเทปกาว บริเวณรอยต่อของท่อเพื่อป้องกันน้ำปูนรั่วเข้าท่อขณะเทคอนกรีตเข้าท่อ

เหล็กเสริมและแนวลวด Prestress

10. งานคอนกรีต (Concret works)

การเทคอนกรีตเพื่อหล่อ Segment มีขั้นตอน ดังนี้

- เทคอนกรีตในส่วน Bottom Slab ก่อนโดยเว้นด้านครึ่งบนและด้านข้างที่อยู่ใต้ Web ทั้งสองข้างไว้
- เทคอนกรีตในส่วน Web โดยเทผ่านท่อที่ยาวถึงด้านล่าง ซึ่งต่อเนื่องกับ Bottom Slab จนกระทั่งบริเวณมุมระหว่าง Web และ Bottom Slab คอนกรีตแต่ละชั้นต้องสูง ไม่เกิน 1 เมตร จากนั้นย้ายไปเทคอนกรีตชั้นที่ 2 เต็ม แต่งคอนกรีตส่วนที่ทะลักเกินบริเวณมุมออกมาซึ่งนี้เป็น สาเหตุที่ต้องเหลือพื้นที่ส่วนหนึ่งของ Bottom Slab ไว้ พร้อมทั้งจี้คอนกรีตให้ไหลเต็มแล้วย้ายไปทำเช่นเดียวกับ Web อีกข้างหนึ่งซึ่งสมมุติเรียกคอนกรีตชั้นนี้ ใน Web เป็นชั้นที่ 1 ในส่วนของ Web
- เมื่อเสร็จชั้นที่ 1 ของ Web ทั้งสองข้างแล้วจึงกลับมาเทใน Web ข้างที่เทครั้งแรกต่อไปอีกเป็นชั้นที่ 2
- เทคอนกรีตชั้นต่อๆ ไปใน Web ทั้ง 2 ข้างสลับไปมา จนกระทั่งเต็มถึงด้านบน การเทสลับเพื่อรักษาสมดุลย์ของน้ำหนักที่กระทำต่อแบบ Web ทั้ง 2 ข้าง

เท Bottom Slab

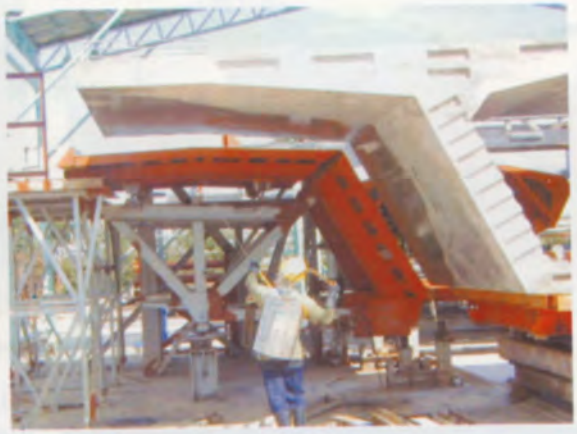
เทในส่วนของ Web

- ดำเนินการเทคอนกรีต Deck Slab จากข้างหนึ่งมาอีกข้างหนึ่ง

เท Deck Slab

แต่งหน้าคอนกรีต

11. การบ่มคอนกรีต เพื่อป้องกันมิให้คอนกรีตสูญเสียน้ำในกระบวนการ Hydration ในคอนกรีต ซึ่งใช้น้ำยาบ่ม (Liquid Membrane Curing Compound) หรือใช้ผ้ากระสอบชุบน้ำ โดยทั่วไป Segment จะถอดแบบหลังเท 16–18 ชั่วโมง เมื่อค่า Strength ได้ตามข้อกำหนด (180 ksc. Cylinder Strength ซึ่งอย่างไรก็ตามยังคงสามารถบ่มคอนกรีตต่อไปได้ใน Stock yard จนกว่าอายุคอนกรีตได้ไม่น้อยกว่า 7 วัน



การพ่นน้ำยาบ่มบ่มคอนกรีต

12. ดึงลวดอัดแรงตามแนวขวาง (Transverse Tendon) กรณีมีการอัดแรงตามแบบ ถ้ามีการดำเนินการอัดแรง Prestress ของลวดตามแนวทางปีก Web นี้ กระทำเมื่อคอนกรีตมีความสามารถรับแรงอัดตาม มีกำลังแรงอัดได้ตามข้อกำหนด(20 N/mm.^{2} Cylinder) แล้วให้ทำการอัดน้ำปูน(Grout) โดยเร็ว

การดึง Vertical Bar

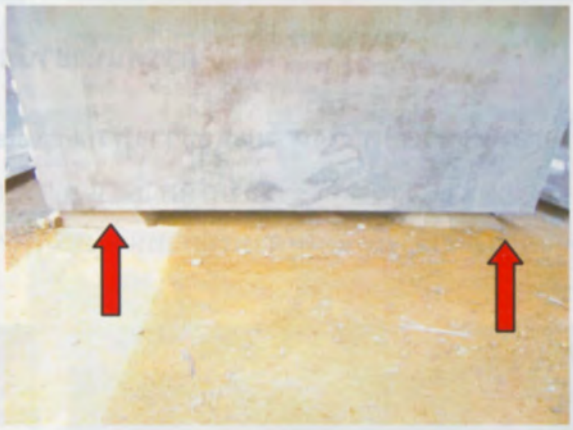
การดึงลวดแนวขวาง

13. เคลื่อนย้าย Old Segment เข้าเก็บใน Stock การเคลื่อนย้ายต่อไป Old Segment จะถูกย้ายไปกองเก็บที่ Segment Stock Yard โดยใช้ Shuttle Lift การยึดจับ Segment จะกระทำผ่านรูที่เจาะเตรียมไว้ จำนวน 4 จุด โดยใช้ High Tension Bar ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm. ซึ่งรูที่เจาะเตรียมไว้จะทะลุผ่าน Deck Slab ช่วงใกล้กับ Web เป็นบริเวณที่เกิดความมั่นคง (Stability) สำหรับ Anchor Plateและ Nut ก็ควรติดตั้งให้เหมาะสม และขันน็อตให้แน่น การยก Segment ควรค่อยๆ ทำเป็นขั้นตอน

เลื่อนมารอการยกเก็บ

การยกเก็บโดย Shuttle Lift

การยก Segment เข้า Stock



วางบน Support 3 จุด

เพื่อให้แน่ใจในความปลอดภัย ขั้นแรกควรให้ลอยเหนือแบบล่าง ก่อนประมาณ 5 เซนติเมตรแล้วหยุดตรวจสอบสภาพโดยทั่วไป หากไม่มีสิ่งผิดปกติก็สามารถยกต่อไปได้

การวาง Segment ใน Stock จะวางบน Support แบบ 3 จุด เพื่อป้องกันการทรุดตัวไม่เท่ากันของ Support ในแต่ละจุด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ Segment แตกร้าวเสียหาย

ปัญหา และแนวทางแก้ไข

ปัญหา	สาเหตุ	การป้องกัน การแก้ไข
1. Deviator แตกร้าว	- ตำแหน่ง Deviator คลาดเคลื่อนจากแบบ ทำให้จุดสัมผัสระหว่าง Deviator กับ Cable เปลี่ยนไปเมื่อทำการอัดแรง (Stressing) ทำเกิดรอยแตกร้าวที่ Deviator	- ควบคุมการผลิต โดยการตรวจสอบตำแหน่ง Deviator ตามแบบทำก่อน-หลังเทคอนกรีต
2. Shear Key แตกร้าว	- การหล่อโดยวิธี Match-Cast ทาน้ำยา Bond Breaker ระหว่าง Segment ไม่ทั่วถึงเมื่อเทคอนกรีตทำให้คอนกรีตเก่าและคอนกรีตใหม่เชื่อมประสานกัน เมื่อถอดแบบออกมาทำให้เกิดรอยแตกร้าว	- ควบคุมการผลิต โดยการตรวจสอบทาน้ำยา Bond Breaker ให้ทั่วก่อนเทคอนกรีต
3. งานค่าระดับ Segment	- เนื่องจากการเทคอนกรีต มีการใช้เครื่องสั่นสะเทือน อาจเกิดปัญหา กับค่าระดับได้ เช่น การคลายตัวของ Hydraulic Jack ทำให้แบบหล่อเกิดการทรุดตัว หรือการทรุดตัวของ yard	- ทำแบบฟอร์มตรวจสอบค่าระดับทั้งก่อนและหลังเทคอนกรีตอย่าง

สรุปการหล่อ Segment โดยวิธี Match-Cast

ข้อดีของวิธีนี้

- พื้นที่การทำงานที่น้อย
- สามารถควบคุมคุณภาพของคอนกรีตได้ดี
- กระบวนการผลิตเป็นรูปแบบเดียวกัน และสามารถปรับเปลี่ยนลักษณะทางเรขาคณิตให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนของรูปแบบได้โดยไม่มีต้นทุนเพิ่มขึ้น

จุดที่ควรให้ความสำคัญเป็นพิเศษ คือ ชิ้นส่วนที่หล่อแล้วเสร็จในตำแหน่ง New Segment Positionเพื่อเป็นแบบหล่อ Match-cast ให้กับชิ้นส่วนถัดไป จำเป็นต้องใช้เจ้าหน้าที่สำรวจที่มีทักษะสูง เพื่อให้การวางตำแหน่งของชิ้นส่วนดังกล่าว มีความถูกต้องแม่นยำตามแนว (Alignment) ที่ออกแบบ

การติดตั้ง Pre-Cast Segment

บทนำ

ปัจจุบันการก่อสร้างสะพานได้พัฒนารูปแบบจากคานแบบ Box-Girder, I-Girder หรือ Multi-Beam มาใช้รูปแบบเป็น Segment ซึ่งสามารถทำงานได้สะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย โครงการก่อสร้างสะพานติณสูลานนท์ได้ออกแบบโครงสร้างเป็น Precast Box Girder Segment การติดตั้ง Segment โดยนำ Segment แต่ละท่อนมาเรียงต่อกัน และร้อยลวดชนิดแรงดึงสูงแล้วดึงลวดอัดแรงให้ประกบติดเข้าด้วยกันเป็นระนาบที่มีความยาวต่อเนื่อง (Continuous) ตลอดทั้งความยาวสะพาน ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงขั้นตอนและเทคนิคการติดตั้งอย่างถูกวิธี

ข้อมูลเบื้องต้น

- ค่าระดับ (Profile Grade) ของสะพาน
- ค่าระดับที่ใช้ในการหล่อ Segment
- คุณสมบัติของ Pot Bearing ซึ่งรองรับ Segment
- ค่า Pre-Setting ของการติดตั้ง Pot Bearing
- แรงที่เกิดขึ้นจากการขยายตัว (Movement) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

คุณสมบัติของ Segment และ ของลวดอัดแรง

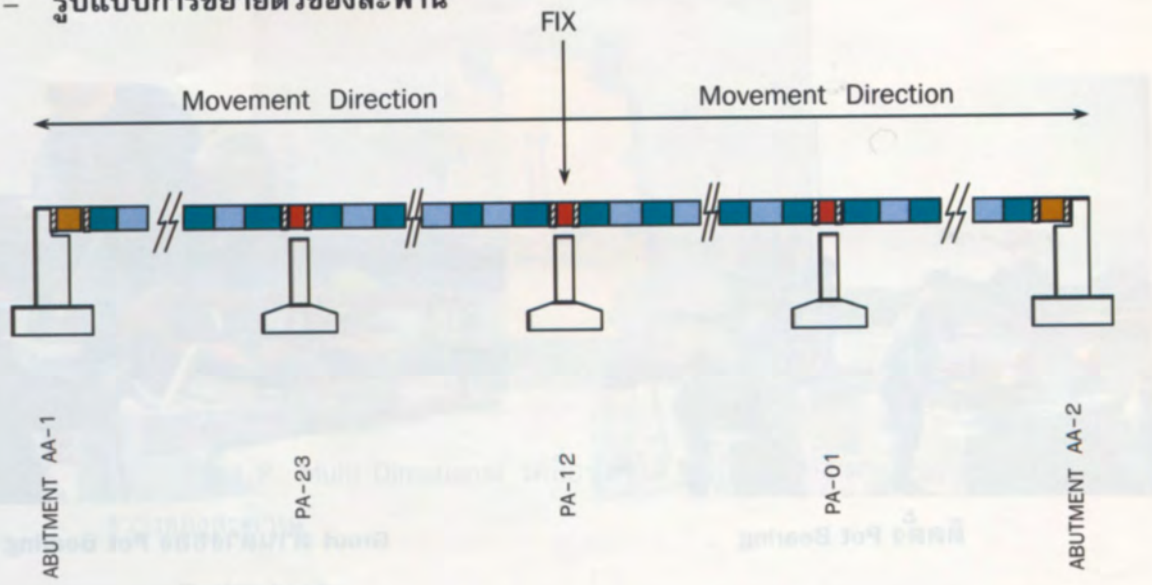
- **Segment**
  - ค่า Compressive strength (Cylinder) ของคอนกรีต $\geq$ 400 ksc.
  - น้ำหนักแต่ละ Segment $\approx$ 13.52 t /m.

Mix Design (Concrete 1 $m.^3$)

Cement (kg)	Coarse Agg. (kg)	Sand (kg)	Water (kg)	Sikament 9 EX (เพิ่ม Workability) (kg)
450	930	770	200	5.80

- **ลวดอัดแรง PC Strands – 7 Wire Ordinary – Low Relaxation**
  - Diameter 0.60 " (15.2 mm.)
  - Tensile Strength 1,860 Mpa.
  - ท่อร้อยลวดอัดแรง (Tendon) ทั้งหมด 6 คู่ ร้อยลวดอัดแรงท่อละ 19 เส้น รับแรง 380 ตัน/ท่อ จำนวน 4 คู่ ร้อยลวดอัดแรงท่อละ 5 เส้น รับแรง 100 ตัน/ท่อ จำนวน 2 คู่

- **รูปแบบการขยายตัวของสะพาน**



เครื่องมือ และ อุปกรณ์

- Launching Truss
- Mobile Gantry สำหรับลำเลียง Segment จาก Stock Yard
- รถ Crane ยก Segment ลงโป๊ะลำเลียง
- Pontoon Crane ยก Pier Segment ติดตั้งบน Column
- Hydraulic Pump and Jack
- Grout Mixer and Pump

ขั้นตอนการติดตั้ง (**Erection Procedures**)

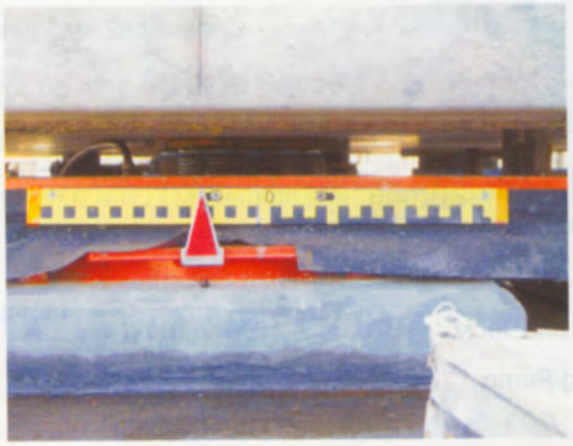
1. การติดตั้ง Pot Bearing
2. การติดตั้ง Pier Segment
3. การติดตั้ง Launching Truss
4. การติดตั้ง Segment
5. Temporary Stressing
6. ดึงลวดตามแนวยาวคู่แรก และเทคอนกรีตที่ Closure Joint
7. ดึงลวดตามแนวยาวทั้งหมดด้วยแรง 100 % ของ Jacking Force

1. ติดตั้ง pot bearing

pot bearing ใน Column เดียวกันมี 2 แบบ โดย Bearing ข้างหนึ่งเป็นแบบ Fix อีกข้างเป็นแบบ Free โดยทำการติดตั้งในตำแหน่งซึ่งได้เตรียมไว้ล่วงหน้า ตรวจสอบให้ได้แนวและระดับ จากนั้น Grout ที่ด้านล่างของ Pot Bearing แล้ว Pre-set pot bearing ตามค่าที่แบบกำหนด

ติดตั้ง Pot Bearing

Grout ด้านล่างของ Pot Bearing



ตั้ง Pre-set ตามค่าที่แบบกำหนด

1.1 Type of Pot Bearing

แต่ละ Pier ประกอบด้วย Pot Bearing สองลักษณะ คือด้านหนึ่งเป็น One Directional อีกด้าน เป็น Multi Direction ยกเว้นที่ Strong Point เป็นแบบ Fix Bearing

1.1.1 One Directional เคลื่อนตัวได้ ตามแนวยาวของสะพานทิศทางเดียว

Design Load

Vertical (V) (ton)	Horizontal (H) (ton)	Rotation (radian)
220	60	0.013

1.1.2 Multi Directional เคลื่อนตัวได้ 2 ทิศทางทั้ง ตามแนวยาว และตามแนวขวางของสะพาน

Design Load

Vertical (V) (ton)	Horizontal (H) (ton)	Rotation (radian)
220	9	0.013

1.1.3 Fix Bearing ไม่มีการเคลื่อนตัวในทุกทิศทาง

Design Load

Vertical (V) (ton)	Horizontal (H) (ton)	Rotation (radian)
445	60	0.013

1.2 วิธีการติดตั้ง Pot Bearing

1.2.1 เตรียม Block Out ที่ Pier Column ก่อนเทคอนกรีต ให้ตรงตามตำแหน่งที่จะติดตั้ง Pot Bearing จำนวน 4 จุด ต่อ 1 Pot Bearing ขนาด และ ความลึกของ Block Out แตกต่างกันไปตามชนิด ของ Pot Bearing ดังนี้

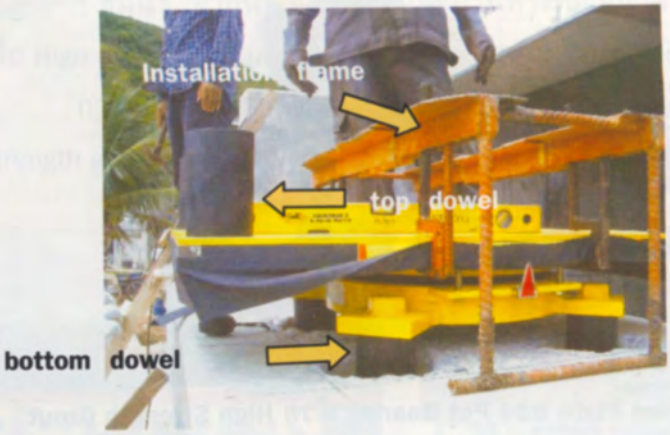
- One Directional มี Block out ขนาดประมาณ ∅ 140 mm. ลึก 140 mm.
- Multi Directional มี Block out ขนาดประมาณ ∅ 100 mm. ลึก 130 mm.
- Fix Bearing มี Block out ขนาดประมาณ ∅ 140 mm. ลึก 160 mm.

สกัดผิวหน้าคอนกรีตของ Pier Column บริเวณตำแหน่งที่จะ Grout Bottom Plate ของ Pot Bearing เพื่อให้ High Strengh Grout ยึดเกาะกับคอนกรีตของ Pier Column ได้ดีขึ้น

สกัดผิวหน้าคอนกรีตของ Pier Column

1.2.2 ติดตั้ง Pot Bearing ลงใน Block out ที่ทำความสะอาดโดยใช้เครื่องลมเป่าฝุ่นออก และล้างให้สะอาดด้วยน้ำ ใช้ Installation frame ยก Pot Bearing โดยให้ bottom dowel ของ Pot Bearing ตรงกับตำแหน่งของ Block out ที่ Pier Column จัด

ตำแหน่งแนว (alignment) และระดับของ Pot Bearing ให้ตรงตามที่แบบกำหนด ติดตั้ง Formwork ในส่วนของ Bottom Plate และตรวจสอบความเรียบร้อย



ยก Pot Bearing ขึ้นติดตั้งบน Pier Column

จัดตำแหน่งแนว (alignment) และระดับของ Pot Bearing

ติดตั้ง formwork

1.2.3 Grout Bottom Plate ด้วย High Strength Grout โดยต้องราดน้ำให้คอนกรีตเก่าชุ่มน้ำเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำใน High Strength grout ถอด formwork ออก

เมื่อกำลังอัดของ High Strength Grout เป็นไปตามแบบกำหนดและพ่นน้ำยาบ่มคอนกรีต แล้วคลุมด้วยกระสอบ หรือแผ่นพลาสติก

Grout Bottom Plate ของ Pot Bearing ด้วย High Strength Grout

พ่นน้ำยาบ่มคอนกรีตและคลุมด้วยกระสอบ

1.2.4 ติดตั้ง Pier Segment บน Pier Column โดยมีชุด Hydraulic Jack (Pier Bracket) รองรับ ขณะวาง Pier Segment ต้องตรวจสอบให้ Top dowel ของ Pot Bearing ตรงกับตำแหน่งของ Block out ใต้ Pier Segment หลังจากนั้นทำการจัดตำแหน่งแนว (alignment) และ ระดับของ Pier Segment ให้ตรงตามที่แบบกำหนด

ยก Pier Segment ขึ้นติดตั้งบน Pier Column

1.2.5 หลังจากอัดแรงครบทุก tendon แล้วทำการตั้งค่า Pre-setting ที่ Top Plate ให้ตรงตามที่แบบกำหนด และติดตั้ง Formwork ในส่วนของ Top Plate ตรวจสอบความเรียบร้อย ทำการ Grout ด้วย High strength Grout โดยต้องพ่นน้ำให้คอนกรีต Pier Segment ชุ่มน้ำ จากนั้น Grouting โดยผ่านทางท่อ ขนาด dia. 40 mm. ที่ฝังเตรียมไว้ เมื่อ High strength grout เต็มจนกระทั่งไหลออกมาทาง Ventilation tube จึงหยุด grout

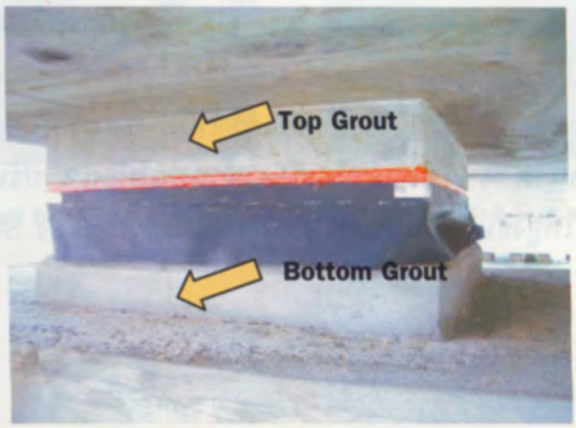
การเลื่อน Launching Truss ไปติดตั้ง Span ช่วงต่อไปให้ทำหลังกำลังอัดแรง High strength grout เป็นไปตามแบบกำหนด

ตั้งค่า Pre-Setting ของ Top Plate

ติดตั้ง formwork

เตรียม High Strength Grout

Grouting Top Plate ของ Pot Bearing ด้วย High Strength Grout



ตัวอย่างผลการทดสอบในสนาม

Sika Grout – 212 HP ในสนาม แบบกำหนดกำลังรับแรงอัดไว้ไม่น้อยกว่า 180 ksc.

W / C (%)	Sika Grout (Kg.)	Water (Lt.)	Compressive Strength of 50 mm. Mortar Cubes (ksc.)				
			10 hours	1 days	3 days	7 days	28 days
13.50	20	3.375	367	682	812	921	1,111

2. ติดตั้ง Pier Segment

วาง Hydraulic jacks จำนวน 4 ตัวบน Pier bracket และอีก 4 ตัวบน Column โดยให้ตำแหน่งของ jacks บน Column ใกล้กับตำแหน่งของ Pot Bearings มากที่สุด ใช้ Crane ยก Pier Segment วางบน jacks ที่อยู่บน Pier bracket ตรวจสอบตำแหน่งของ Pier Segment หากพบว่าคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งมากกว่า 25 mm. ให้ทำการยกและปรับใหม่

เมื่อตรวจสอบแนว และระดับเรียบร้อยแล้ว ให้ใส่ Tie down Bar ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm. ดึงด้วยแรงขนาด 45 ตันแล้วขันเกลียวด้านบนให้แน่น ปรับ Hydraulic Jacks ทั้ง 4 ตัวบน Pier Column ให้สูงขึ้นขึ้นจนกระทั่ง jacks สัมผัสผิวล่างของ Segment แล้ว Lock ด้วย safety Ring

Hydraulic jacks

ยก Pier Segment วางบน Pier Column

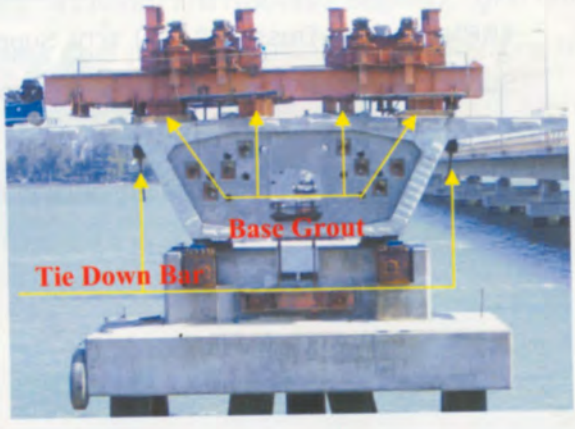
วาง Pier Segment เข้าตำแหน่ง

ดึง Tie down Bars ด้วยแรงขนาด 45 ตัน

3. การติดตั้ง Launching Truss

ปรับระดับ Support Beam บน Pier Segment ให้อยู่ในแนวระดับทุกทิศทาง ใส่ Tie down Bar เพื่อยึด Support Beam เข้ากับ Pier Segment ต้องปรับ Tie down bar ให้อยู่ในแนวดิ่ง ดึงด้วยแรงขนาด 60 ตัน

ใส่ Tie down bar



ติดตั้ง Support Beam บน pier

เลื่อน Launching Jacks (PPU Jacks) ไว้ที่ตำแหน่ง Support Beam ตัวหน้า แล้วยึดให้มั่นคง ถ่ายน้ำหนัก Truss ลงบน Roller Jack และให้ Truss jacks อยู่ต่ำกว่าระดับของปีก Truss ไม่น้อยกว่า 20 mm.

Roller jack และ Girder jacks

เลื่อน Truss ไปข้างหน้าด้วย Launching Jacks (PPU Jack) จนกระทั่งตำแหน่งที่จุดศูนย์ถ่วงของ Truss (C.G.) ผ่าน Support Beam ตัวกลาง น้ำหนักของ Truss จะถ่ายจาก Support Beam ตัวหลังไปยัง Support Beam ตัวหน้า และเมื่อเลื่อน Truss ให้อยู่ในตำแหน่งที่จะทำการยก Segment ให้ถ่ายน้ำหนัก Truss จาก Roller jacks ไปยัง Truss jacks ตรวจสอบระดับใต้ปีกของ Truss โดยระดับต้องอยู่ในแนวราบตลอดเวลา หลังจากนั้น lock safety ring

เลื่อน Girder ไปข้างหน้า

Girder อยู่ในตำแหน่งที่จะทำการยกชิ้นงาน

4. การติดตั้ง segment

ก่อนนำ Segment ลงโป๊ะลำเลียงต้องติดตั้ง Transition frame ที่ด้านบนของ Segment แต่ละตัวเสียก่อน หลังจากนั้นยก Segment ขึ้นจากโป๊ะลำเลียง โดยใช้ Winch และเลื่อน Segment เข้าตำแหน่ง ยึดด้วย Hanging Bars ตรวจสอบว่าน้ำหนักของ Segment ถูกถ่ายลงที่ Hanging Bars ทั้ง 4 ตัวเท่าๆ กัน โดยใช้ Hollow Core jack ที่ด้านบนเป็นตัวปรับ Hanging Bars ก่อนทำการปลด Winch Hook

ยก Segment ลงโป๊ะลำเลียง

ยก Segment ขึ้นจากโป๊ะลำเลียง

เลื่อน Segment เข้าตำแหน่ง

ยึด Hanging Bars

ติดตั้ง Jacks ขนาด 30 ตัน ใต้ Support frame ตรงตำแหน่ง center Line ของ Lanuching girder หลังจากนั้นปรับตำแหน่งแนว และระดับของ Segment ตามที่ได้คำนวณไว้

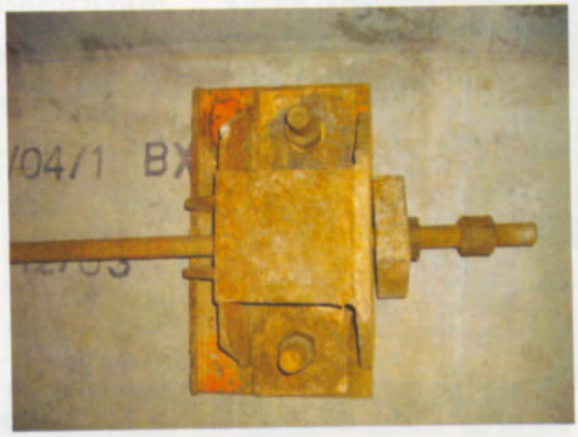
ติดตั้ง Jacks ขนาด 30 t. ใต้ Support Frame

ติดตั้ง Segment ครบทั้ง Span

5. Temporary Stressing

Temporary Stressing ด้วยแรง 15 % ของ Final Jacking Force เพื่อให้ Segment ทุกตัวชิดติดกันโดยต้องติดตั้ง Temporary Brackets ที่ Segment ตัวแรกและตัวสุดท้ายของช่วง Span นั้นด้วย Stress Bar ขนาด 36 mm.

ติดตั้ง Temporary Brackets ที่ Segment ตัวแรกและตัวสุดท้ายในช่วง Span เดียวกัน



ดึงลวดตามแนวยาวชั่วคราวด้วยแรง 15 % ของ Final Jacking Force

6. ดึงลวดตามแนวยาวคู่แรก และเทคอนกรีตใน Closure joint

โดยต้องก่อสร้าง Concrete Block จำนวน 4 แท่ง ใน Closure Joint และเมื่อแท่ง Concrete Block สามารถรับกำลังอัดได้ตามที่แบบกำหนด ให้ดึงลวดตามแนวยาวคู่แรกทั้งช่วง ด้วยแรงขนาด 15 % ของ Jacking Force ทำการผูกเหล็กติดตั้งแบบหล่อของ Closure Joint ทั้ง 2 ด้าน และเทคอนกรีต

Concrete Block ใน Closure Joint

ใส่ท่อ HDPE สำหรับลวดตามแนวยาว

ดึงลวดอัดแรงคู่แรกด้วยแรงขนาด 15%
ของ Jacking Force

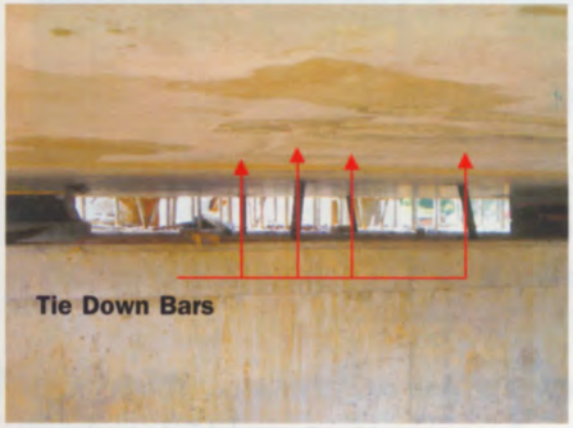
เท Concrete Closure joint

แสดง Closure joint ด้านบน

แสดง Closure Joint ด้านข้าง

7. ดึงลวดตามแนวยาวทั้งหมดด้วยแรง 100 % ของ Jacking Force

เมื่อคอนกรีตใน Closure Joint มีกำลังอัดถึง 180 ksc. ให้ดึงลวดคู่แรกเพิ่มจนถึง 100 % ของ Jacking Force คลายเกรียวของ Tie Down Bars ที่ยึด Pier Segment ลงเล็กน้อยเพื่อให้ Segment Girder สามารถเคลื่อนที่ในแนวยาวของสะพานได้ และลดระดับ Jacks บน Pier Brackets ทั้ง 4 ตัวลง โดยให้มีช่องว่างประมาณ 10 mm. ระหว่าง Jacks กับ Bottom ของ Segment แล้วดึงลวดตามแนวยาวส่วนที่เหลือจนครบ



คลายเกรียว Tie Down Bars

ลดระดับ Jacks บน Pier Bracketsทั้ง 4 ตัว

ดึงลวดตามแนวยาวส่วนที่เหลือ

เมื่อดึงลวดอัดแรงตามแนวยาวครบหมดแล้วให้ปลด Hanging Bars ที่แขวน Segment ออกและทำการ Grout ด้านบนของ Pot Bearing

ปลด Hanging Bars ที่ยึด Segment ออก

Grout ด้านบนของ Pot Bearing

เมื่อ High Strength Grout ที่ด้านบนของ Pot Bearing สามารถรับกำลังอัดได้ตามที่แบบกำหนดให้ปลด Jack บน Pier Column ทั้งหมด เลื่อน Lounching Truss ไปยังช่วงต่อไป

ตัวอย่างการคำนวณค่า Creep and Shrinkage ของ Segment
เพื่อนำไปใช้ในการตั้งค่า Pre-Setting ของ Pot Bearing และติดตั้ง Expansion joint

1.) Creep and Shrinkage

Reference is made to BS 500 : Part : Appendix C [3]

Creep

Ec = $\varnothing$ Ecl , $\varnothing$ = creep factor

$\varnothing$ = ki km kc kj $\varnothing_2$

Where k_L (RH=80%) = 1.90

Km (loading after 28 days at 30 C)^N 0.90

Kc ($^w/_c$ = 0.45, C = 400 gkm^3) = 1.0

Ke (he = 250 mm) = 0.85

Kj (total strain) = 1.0

$\varnothing_2$ (as for creep) = 0.8

$\varnothing_2$ (restraint due to reinforce cat) ~ 0.80

$\Rightarrow$ $\varnothing$ = 1.90 · 0.90 · 0.85 · 0.80 = 1.16

Shrinkage

Es = ki · kc · ke · kj · $\varnothing$

K_L (RH=80%) = $0.20.10^{-3}$

Kc (as for creep) = 1.0

Ke (h = 250 mm) = 0.72

Kj (total strain) = 1.0

$\Rightarrow$ Es = $0.2 \cdot 0.72 \cdot 0.8 \cdot 10^{-3} = 0.12 \cdot 10^{-3}$

Elastic compression

During construction , span by span

Max. prestress, include tendon T6

Fo = (3.343.10 + 2.346.2) · 0.90 = 37.6 MN

Shortening $\delta cl = \frac{Fo\ L}{Ec\ Ac}$ $f_c' = 40$ MPa

Ec = $4{,}730\sqrt{f_c'}$ ~ 30,000 MPa

$\delta cl = \frac{37.6 \cdot 40}{30{,}000 \cdot 4.7}$ = 11 mm / span

2.) Long Term Shortening of Bridge

Assume construction time 180 days from start installation of superstructure until completed central fixed pier PB-21.

According to ref. [3] approx. 50% of total creep & shrinkage remain after 180 days.

Average long term prestress F ~ 35 · 0.9 = 31.5 MN

Total creep Ec = $\varnothing$ Ecl (from first loading)

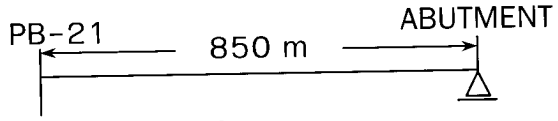
Eel = F/(Ac · Ec) = 31.5/(4.7 · 30,000) = $0.22 \cdot 10^{-3}$

Ec = $1.16 \cdot 0.22 \cdot 10^{-3}$ = $0.25 \cdot 10^{-3}$

Total creep + Shrinkage

Ecs = $(0.25+0.12) \cdot 10^{-3}$ = $0.37 \cdot 10^{-3}$

Estimated shortening of bridge :



Ecs = $0.37 \cdot 10^{-3}$ (100 %) $0.185 \cdot 10^{-3}$ (50 %)

Total shortening from creep & shrinkage :

δ_{cs} = $(0.37+'0.185) \cdot 10^{-3} \cdot 850/2$

= - 236 mm

Movement from temperature variation :

Temperature fall $35^{o}c \rightarrow 20^{o}c$

Shortening δt = $0.15 \cdot 10^{-3} \cdot 850$ = -127 mm

Temperature increase $20^{o}c \rightarrow 35^{o}c$

Expansion δe = + 127 mm

Pre-setting = - 236 + 127 = -109 mm ใช้ประมาณ 118 mm.

ผลการตรวจสอบการเคลื่อนตัวหลังการติดตั้ง Pot Bearing ที่ Abutment AB – 2 ค่า Pre-Setting = 118 mm. ภายหลังการติดตั้งและ Stressing Span วันที่ 23 มิ.ย. 48 มีการเคลื่อนตัวดังนี้

วันที่ 24 มิถุนายน 2548

Time	Temperature (°C)	Movement (mm.)
07.00 – 08.00	26	48
14.00 – 15.00	32	74
17.00 – 18.00	28	71

วันที่ 19 กรกฎาคม 2548

Time	Temperature (°C)	Movement (mm.)
07.00 – 08.00	25	45
14.00 – 15.00	30	69
17.00 – 18.00	27	55

ปัญหา และอุปสรรค

1. การ Grout Shear Key ของ Pier Segment ที่ Strong Point

เนื่องจากการออกแบบสะพานให้มีจุด Fix ที่ Pier บริเวณที่กึ่งกลางความยาวสะพาน Strong Point เมื่อทำการติดตั้งSegment มาถึงตำแหน่ง Strong Point ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษในการเปลี่ยนจุดซึ่งเรียกว่า Fix ชั่วคราวที่จาก Abutment มายัง Strong Point โดยต้องพิจารณากำหนดเวลาทำการ Grout ที่ Strong Point และรอจน Shear Key สามารถรับแรงได้ก่อนเปลี่ยนจุด Fix จาก Abutment มายัง Strongth Point โดยการปลด Tie Beam ที่ Abutment

การแก้ไขปัญหา

ตรวจสอบข้อมูลในสนามเกี่ยวกับการขยายตัวและหดตัวของสะพาน เพื่อนำมาวางแผนการทำงานให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง

จากการเก็บข้อมูลในสนามพบว่า

เวลา	08.00 – 15.00	สะพานเริ่มขยายตัวเต็มที่
	15.00 – 23.00	สะพานเริ่มหดตัวกลับมาที่เดิม
	23.00 – 08.00	สะพานหยุดนิ่งไม่มีการเคลื่อนตัว

จากข้อมูลข้างต้น เริ่มทำการ Grout Shear Key โดยใช้ High Strength Grout เวลา 23.00 น. และทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง High Strength Grout แข็งตัวมี Strength ไม่น้อยกว่า 180 ksc. จึงทำการเปลี่ยนถ่ายจุด Fix จาก Abutment มายัง Strong Point

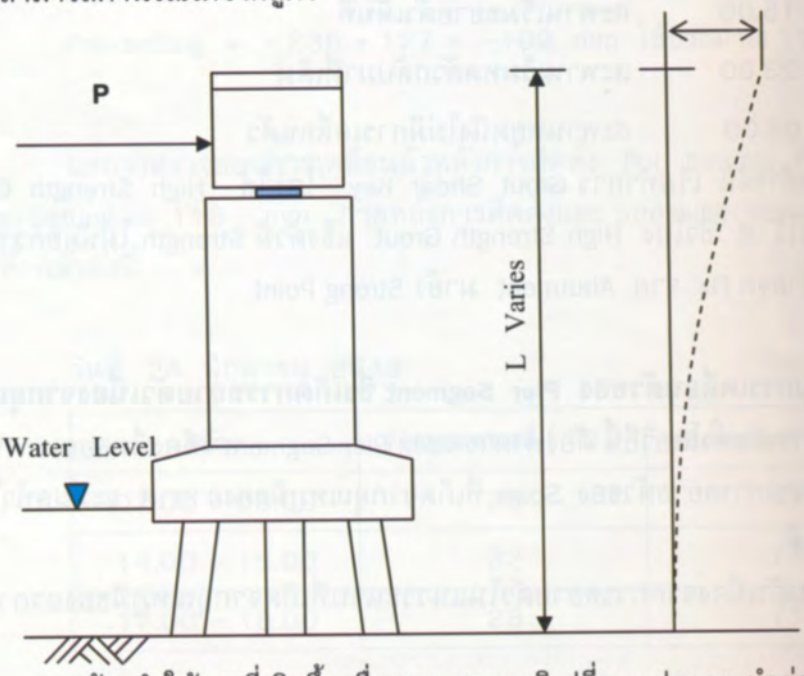
2. การตรวจสอบการเคลื่อนตัวของ Pier Segment ซึ่งเกิดการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ

เนื่องจากการติดตั้งโดยวิธีนี้ ต้องทำการ Lock Pier Segment ให้คงที่ตลอดเวลาที่ทำการเท Closure Joint เพราะการขยายตัวของ Span ที่เกิดจากอุณหภูมิของอากาศ จะมีผลทำให้เกิดการเคลื่อนของตอม่อได้

การเคลื่อนตัวเนื่องจากการขยายตัวในแนวระนาบที่เกิดจากอุณหภูมิของอากาศสามารถตรวจสอบได้จาก

2.1 Pier Segment ซึ่งมีแผ่น Teflon รองรับอยู่ และวางอยู่บน Hydraulic Jack สามารถเคลื่อนตัวได้ไม่เกิน 10 มม.

2.2 ตอม่อซึ่ง Lock ติดกับ Pier Segment โดย Tie Down Bars ค่าที่ยอมให้ในการเคลื่อนตัวสามารถคำนวณได้จากสูตร



$$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

ต้องทำให้แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงกระทำต่อตอม่อเป็นเวลาสั้นที่สุดในการปลด Tie Down Bars ให้ดำเนินการ ดังนี้

- หลังจากเทคอนกรีต Block จำนวน 4 แห่งใน Closure Joint และมีค่า Strength ได้ตามข้อกำหนดให้ทำการดึงลวดอัดแรงคู่แรกด้วยแรง 15 % ของ Jacking Force
- เทคอนกรีตใน Closure Joint ในส่วนที่เหลือจนแล้วเสร็จ เมื่อค่า Strength ได้ตามข้อกำหนด ทำการดึงลวดอัดแรงคู่แรก เพิ่มจนถึง 100 % ของ Jacking Force
- คลายเกลียวของ Tie Down Bars เพื่อลดแรงที่กระทำต่อตอม่อ

การก่อสร้างด้วยวิธี Balance Cantilever

บทนำ

สะพานที่มีความยาวช่วงสะพานมาก ส่วนมากออกแบบเป็นคานพื้นสะพาน ชนิด Concrete Box Girder มีขนาด และรูปแบบตามความเหมาะสมของการใช้งาน เช่น จำนวนช่องจราจร ความยาวช่วงสะพาน และวิธีการก่อสร้าง เป็นต้น คานพื้นสะพาน Concrete Box Girder ที่มีขนาดความยาวช่วงสะพานมากๆ และไม่สามารถก่อสร้างนั่งร้านรับแบบคานพื้นสะพานได้ เพราะพื้นที่ใต้สะพานใช้เป็นเส้นทางจราจร แม่น้ำ ทะเล หรือเหวลึก นิยมออกแบบการก่อสร้างด้วยวิธี Segmental Balanced Cantilever Erection คือการก่อสร้างขึ้นส่วนคานพื้นสะพานยื่นออกจากเสาตอม่อสะพานทั้งสองด้านแบบสมดุลกัน ซึ่งมีกลุ่มท่อร้อยลวดอัดแรง (Prestressed Tendons) เป็นองค์ประกอบสำคัญ สามารถเลือกวิธีการก่อสร้าง Concrete Segment ได้ 2 วิธี คือ Precast Segment และ Cast in Situ Segment ตามความเหมาะสมกับปริมาณงาน และความสะดวกในการทำงานสอดคล้องกับพื้นที่ก่อสร้าง ในที่นี้จะกล่าวถึง Cast In-Situ Segment

ข้อมูลเบื้องต้น

- สภาพพื้นที่ก่อสร้าง การวางแผนวิธีลำเลียงคอนกรีตเพื่อก่อสร้าง Segment รวมทั้งการใช้อุปกรณ์ และเครื่องจักรในการทำงาน
- ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง เช่น ผลกระทบต่อการสัญจรทางบก หรือ ทางน้ำที่อาจไม่สามารถลอดผ่านใต้สะพานในขณะทำการก่อสร้างได้
- ขั้นตอนการทำงานซึ่งวิศวกรผู้เชี่ยวชาญได้กำหนดไว้ และแบบรายละเอียดวิธีการก่อสร้างในแต่ละขั้นตอนซึ่งรวมถึงจำนวนแบบก่อสร้าง (Form Traveler)

เครื่องมือ และอุปกรณ์

- แบบ From Traveler รวมทั้งระบบ Hydraulic Jack และรอกทดแรง
- ระบบลำเลียงคอนกรีตด้วยแรงดัน (Concrete Pump)
- เรือลำเลียง (Barge, Pontoon) รถยก (Mobile Crane)
- อุปกรณ์ระบบอัดแรง และอัดฉีดน้ำปูน

ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

- ศึกษารูปแบบการก่อสร้าง และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องโดยละเอียด
- ศึกษารายละเอียดขั้นตอนการทำงานของ Form Traveler
- ตรวจสอบรายละเอียดขั้นตอนการก่อสร้าง และรายการคำนวณต้องเป็นไปตามที่วิศวกรผู้เชี่ยวชาญกำหนดและได้รับรองไว้ เพราะการเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการก่อสร้างอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าระดับก่อสร้างที่ได้คำนวณไว้

- ตรวจสอบแบบนั่งร้านเหล็กชั่วคราว (Temporary Support) ที่ติดตั้งบนฐานรากตอม่อสะพานรองรับ Pier Head Segment
- ตรวจสอบขั้นตอนวิธีการติดตั้ง Pot Bearing บนเสาตอม่อ
- ตรวจสอบเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานอัดแรง เช่น Hydraulic Jack ซึ่งต้องผ่านการทดสอบ และรับรองจากสถาบันที่เชื่อถือได้ และอุปกรณ์สำหรับอัดฉีดน้ำปูน
- เตรียม Mix Designed Concrete ให้เหมาะสมกับการทำงานคอนกรีต Segment
- เตรียมเอกสารแบบฟอร์ม หรือตารางที่ต้องใช้ในการจดบันทึกข้อมูลต่าง ๆ

ขั้นตอนการก่อสร้าง

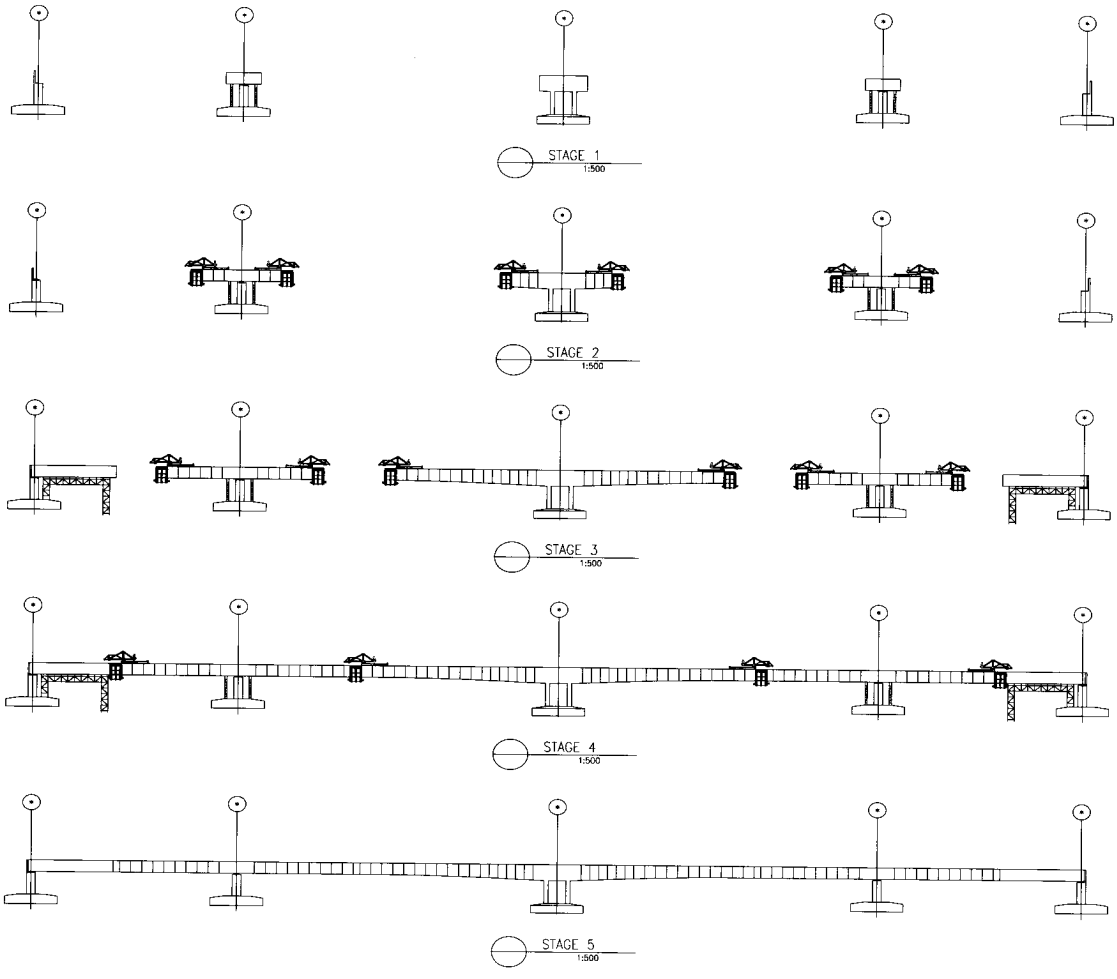
- ปรับฐานเพื่อรองรับโครงสร้างนั่งร้านเหล็กชั่วคราวบนฐานตอม่อสะพาน
- ประกอบโครงสร้างนั่งร้านเหล็กชั่วคราวรองรับแบบหล่อ Pier Head Segment โดยติดตั้ง Jack ปรับระดับหรือ Sand Jack ไว้ใต้เสาเหล็กเพื่อการรื้อถอนแบบได้สะดวกภายหลัง
- ก่อสร้าง Pier Head Segment โดยการแบ่งเทคอนกรีต 3 ส่วน คือ พื้นล่าง (Bottom Slab) กำแพง (Wall) และพื้นบน (Top Slab) ตามลำดับ ในแต่ละขั้นตอนต้อง ตรวจสอบแบบหล่อคอนกรีตให้อยู่ในสภาพใช้งานได้ดี ตลอดจนค่าระดับก่อสร้าง รวมทั้งรายละเอียดเหล็กเสริม จำนวนและตำแหน่ง ท่อร้อยลวดอัดแรงให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- เลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมกับวิธีการเท
- การดึงลวดอัดแรงให้เป็นไปตามแบบกำหนด
- ประกอบ และติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต Segment หรือ Form Traveler บนพื้นบนของ Pier Head Segment ทั้งสองด้าน โดยยึดโครงเหล็กแบบกับพื้นคอนกรีตด้วยเหล็กยึด (Tie Down Bar)
- ตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของแบบหล่อ Segment โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อ และน็อตยึดทุกแห่ง
- ขัดทำความสะอาดภายในแบบหล่อด้านนอก (Outer form) ใส่แผ่นฟองน้ำอุดรอยต่อระหว่างแบบเหล็กกับคอนกรีตป้องกันน้ำปูนไหลออก
- ตรวจสอบ และกำหนดค่าระดับก่อสร้างพื้นล่างของ Segment บนผิวในของแบบหล่อด้านนอก
- เลื่อนแบบหล่อด้านใน (Inner Form) ออกมาขัดทำความสะอาดพร้อมทาน้ำมันแบบ ก่อนเลื่อนกลับเข้าไปตำแหน่ง Segment เดิม
- ผูกเหล็กเสริมในพื้นล่าง และกำแพงของ Segment ตามแบบรายละเอียด
- เลื่อนแบบหล่อด้านในออกมาที่ตำแหน่ง Segment ใหม่ พร้อมทั้งตรวจสอบค่าระดับพื้นบนของ Segment
- ผูกเหล็กเสริมในพื้นบนของ Segment รวมทั้งผูกยึดแนวท่อร้อยลวดอัดแรงตามแนวยาว (Longitudinal Tendons) และตามแนวขวาง (Transverse Tendons) ให้ถูกต้องตรงตำแหน่งตามแบบกำหนด

- แบบปิดด้านขวางของ Segment อาจใช้ตะแกรงเหล็กชุมสังกะสีปิดกั้นคอนกรีตได้ โดยต้องมีระยะหุ้มคอนกรีต (Covering) เท่ากับของเหล็กเสริม
- ตรวจสอบค่าระดับพื้นบน และทำความสะอาดก่อนเทคอนกรีต
- การเทคอนกรีตให้เทเต็มพื้นที่พื้นล่างของ Segment ก่อน และให้มีระดับต่ำกว่าระดับก่อสร้างเล็กน้อย แล้วเทคอนกรีตในกำแพงทั้ง 2 ด้านต่อเนื่องถึงพื้นบน ต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดโพรงในคอนกรีต ปาดแต่งหน้าคอนกรีตให้ได้ระดับตามแบบ
- การใช้สายสั่นสะเทือนเพื่อทำให้คอนกรีตแน่นตัว ต้องไม่ทำให้เหล็กเสริม ท่อร้อยลวดอัดแรง ท่อสำหรับอัดฉีดน้ำปูน และท่ออากาศ เคลื่อนที่หรือเกิดความเสียหาย
- เก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตทดลองให้เพียงพอสำหรับการทดสอบ เพื่อประกอบการพิจารณาดึงลวดอัดแรง
- ดำเนินการตามขั้นตอนการก่อสร้าง Segment ที่ปลาย Pier Head Segment อีกด้านหนึ่งเพื่อให้สมดุลกันทั้งสองด้าน
- ร้อยลวดอัดแรงตามแนวยาวในท่อ Tendons ของพื้นบนที่เรียกว่า Cantilever Cables ของ Segment ทั้งสองด้านผ่าน Pier Head Segment จำนวน 1 คู่ หรือ ตามแบบกำหนด
- ดึงลวดอัดแรงด้วยแรงที่แบบกำหนดเปรียบเทียบกับค่าการยืดตัวของลวดอัดแรงที่คำนวนไว้ ตัดปลายลวดอัดแรงให้เรียบร้อยแล้วอัดน้ำปูนในท่อร้อยลวดอัดแรงจนเต็มการดึงลวดอัดแรงให้ดึงลวดอัดแรงตามแนวขวางในพื้นบนของ Segment ก่อน แล้วจึงดึงลวดอัดแรงตามแนวยาว ตามวิธีการที่กำหนดไว้ก่อนแล้ว
- เลื่อนแบบ Form Traveler ยื่นออกจาก Segment คู่แรกที่หล่อคอนกรีต และอัดแรงแล้วเสร็จ ดำเนินการตามขั้นตอนข้างต้นเพื่อหล่อคอนกรีต Segment คู่ต่อ ๆ ไป โดยต้องพิจารณาจำนวน ขนาด และตำแหน่งเหล็กเสริม ท่อร้อยลวดอัดแรง ตำแหน่งปลายลวดอัดแรง (Anchorage หรือ Blister) ของ Segment แต่ละคู่ให้เป็นไปตามแบบกำหนด รวมทั้งรายละเอียดค่าระดับ และขนาดความยาวของ Segment ทุกคู่
- เมื่อก่อสร้างชิ้นส่วน Segment ยื่นแบบสมดุลออกจากเสาตอม่อสะพานแล้วเสร็จทุกคู่และทุกตอม่อตามแบบก่อสร้าง ให้ทำการตรวจสอบแนวและค่าระดับที่ปลาย Segment ก่อนประกอบแบบหล่อคอนกรีต Closure Segment เชื่อมต่อ Segment ทั้งช่วงเข้าด้วยกัน โดยต้องยึดปลายคานทั้งสองให้มั่นคง แข็งแรง ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้
- ทำความสะอาดภายในแบบเหล็ก ผูกเหล็กเสริมของ Closure Segment รวมทั้งผูกยึดท่อร้อยลวดอัดแรงในพื้นล่างของ Closure Segment ให้ตรงตำแหน่งตามแบบกำหนด
- ประกอบติดตั้งแบบภายใน Closure Segment ทุกด้านให้แข็งแรง โดยใส่แผ่นฟองน้ำอุดรอยต่อระหว่างแบบเหล็กกับคอนกรีตป้องกันน้ำปูนไหลออก
- ตรวจสอบระดับก่อสร้างพื้นบนของ Closure Segment แล้วทำความสะอาดภายในแบบ
- เทคอนกรีต Closure Segment ด้วยวิธีเดียวกับการเทคอนกรีต Segment
- เมื่อคอนกรีตที่เทรับกำลังอัดได้ตามแบบกำหนด ให้ร้อยลวดอัดแรงในพื้นล่าง ซึ่งเรียกว่า Span Cables แล้วอัดแรงตามวิธีการที่กำหนดไว้ ทำให้ Segment เชื่อมต่อกันตลอดความยาวช่วง

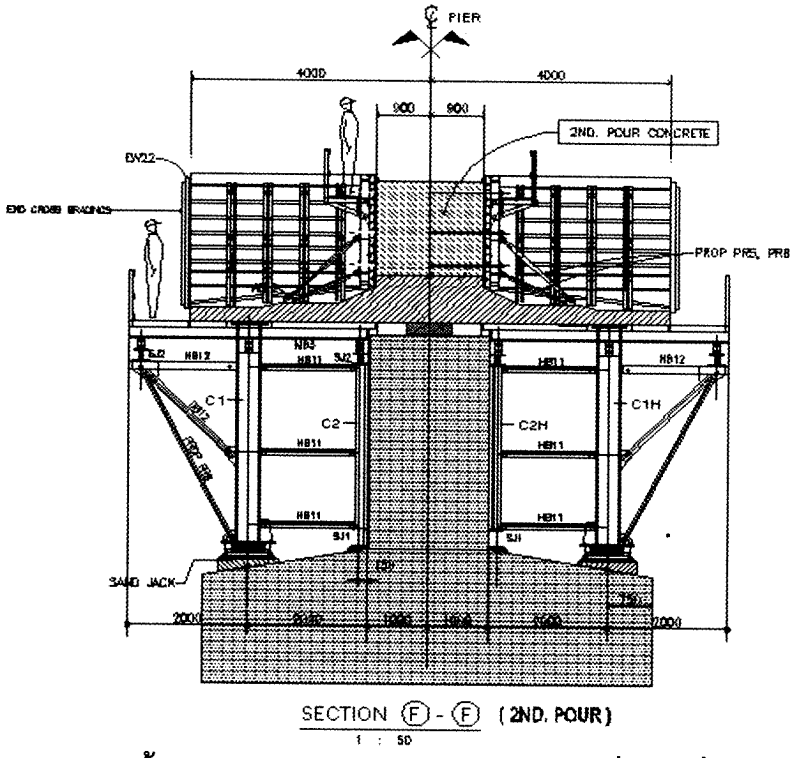
- ดำเนินการตามวิธีการและขั้นตอนการก่อสร้าง Pier Head Segment และ Segment ที่ตอม่อสะพานตับอื่นๆ กรณีตอม่อสะพานที่ต้องติดตั้ง Pot Bearing ชนิด Free ตามแบบกำหนด ในขั้นตอนการก่อสร้าง Pier Head Segment ต้องติดตั้ง Pot Bearing ตามคู่มือการปฏิบัติงานของนายช่างโครงการฯเรื่อง Pot Bearing โดยต้องยึด Pier Head Segment ติดกับเสาตอม่อสะพานและนั่งร้านชั่วคราวด้วยเหล็กยึด (Tie Down Bar) ให้สามารถรับแรงดัด (Moment) ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการก่อสร้าง Segment ยื่นจากตอม่อตับดังกล่าวได้
- หมั่นตรวจสอบแรงดึงในเหล็ก Tie Down ให้เป็นไปตามแบบกำหนดป้องกันแรงดึงสูญเสียไปในระหว่างการก่อสร้าง Segment
- การก่อสร้างคานพื้นสะพานช่วงปลาย (End Span) ที่ตอม่อริมฝั่งหรือกรณีเป็น Abutment ไม่สามารถก่อสร้างด้วยวิธี Balanced Cantilever ได้ ต้องก่อสร้างนั่งร้านชั่วคราวรับแบบหล่อ Segment ทั้งช่วงความยาว หรือใช้วิธีอื่นตามแบบกำหนด

ปัญหา และแนวทางแก้ไข

- ขณะทำการก่อสร้างด้วยวิธี Balanced Cantilever ต้องพิจารณาคำนวณค่าระดับก่อสร้างไว้ก่อน โดยคิดค่าระดับเผื่อไว้ที่เรียกว่า Pre-camber เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขณะก่อสร้างคือ น้ำหนักของ Segment ทำให้ระดับ Segment ต่ำลง ส่วนแรงดึงในลวดอัดแรงหรือ Cantilever Cables ทำให้ระดับ Segment สูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่ทำให้ค่าระดับก่อสร้างของ Segment เปลี่ยนแปลงภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ เช่น Shrinkage และ Creep เมื่อทำการก่อสร้าง Segment แล้วเสร็จแต่ละคู่ต้องตรวจสอบค่าระดับ และแนวทุกครั้ง ในช่วงเวลาที่อุณหภูมิไม่สูง เช่น เวลาเช้า 8.00 – 9.00 นาฬิกา หากมีความคลาดเคลื่อนจากที่คำนวณไว้ให้รีบดำเนินการแก้ไข
- ขณะทำการดึงลวดอัดแรงที่เรียกว่า Span Cables ทำให้ Segment ทั้งช่วงเปลี่ยนพฤติกรรมเป็นคานต่อเนื่อง และเกิดการโก่งตัวขึ้น จึงต้องพิจารณาป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการโก่งตัวของคานพื้นสะพาน โดยเฉพาะที่บริเวณจุดรองรับชั่วคราว และ Pot Bearing โดยการใช้ Hydraulic Jack รองรับในขณะดึงลวดอัดแรง Span Cables ในแต่ละขั้นตอนและติดตั้ง Stop End ที่ปลาย End Span ตรงตำแหน่งตอม่อริมฝั่ง เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของ Segment ทั้งช่วง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และแรงสั่นสะเทือนจากการจราจร



ขั้นตอนการก่อสร้างด้วยวิธี Balance Cantilever ยื่นจากตอม่อ 3 ตับพร้อมกัน



SECTION Ⓕ - Ⓕ (2ND. POUR)
1 : 50

ขั้นตอนการก่อสร้าง Pier Segment บนนั่งร้านชั่วคราว

การผูกเหล็ก Bottom Slab ของ Pier Segment

การกำหนดระดับก่อสร้าง Top Slab ของ Pier Segment

ตำแหน่งท่อร้อยลวดอัดแรงตามแนวยาวและตามแนวขวาง

Pier Segment ที่ติดตั้ง Form Traveler แล้ว

Pier Segment ที่หล่อคอนกรีตแล้วเสร็จ ยึดติดไว้กับนั่งร้านชั่วคราวด้วย Tie Down Bars

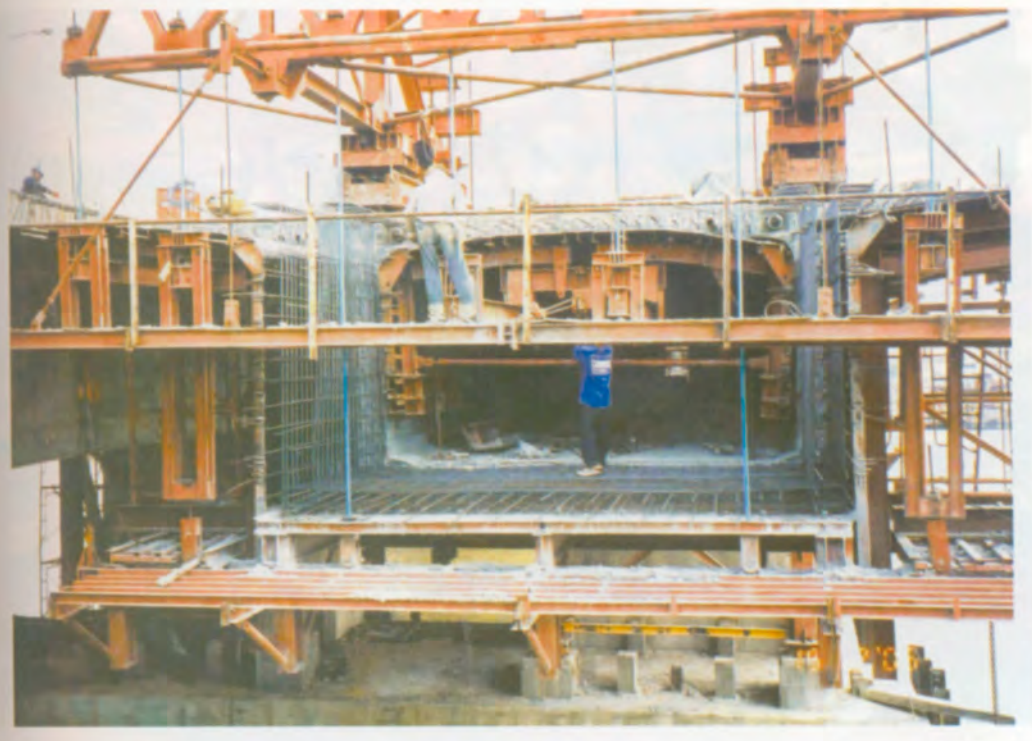
ติดตั้งโครงเหล็ก Form Traveler บน Pier Segment

นั่งร้านชั่วคราวรับแบบหล่อคานช่วงริมฝั่ง (End Span)

คานช่วงริมฝั่ง (End Span) ที่หล่อคอนกรีตแล้วเสร็จ

ขัดทำความสะอาดแบบหล่อด้านนอก (Outer Form) ของ Segment

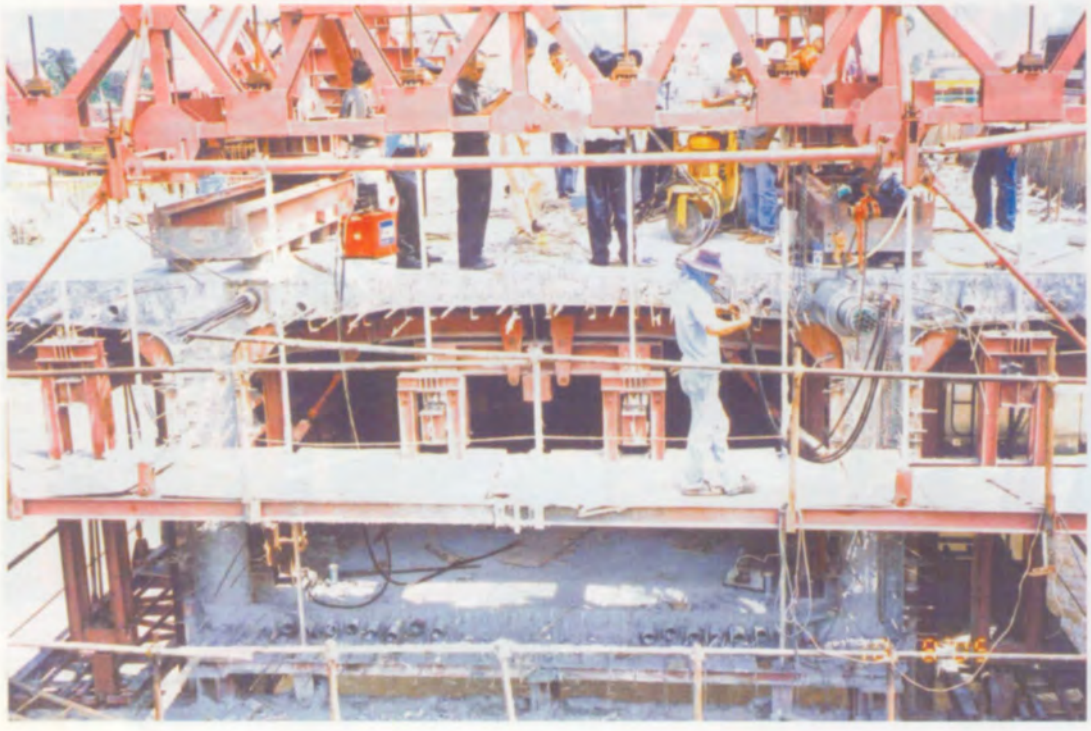
เลื่อนแบบแบบหล่อด้านใน (Inner Form) ของ Segment ด้วยรอกทด เพื่อทำความสะอาด



ผูกเหล็กเสริมในพื้นล่าง (Bottom Slab) และกำแพง (Wall) ของ Segment

ผูกเหล็กเสริมในพื้นบน (Top Slab) ของ Segment

ร้อยลวดอัดแรงใน Longitudinal Tendon



ดึงลวดอัดแรงใน Longitudinal Tendon ด้วยแรงที่แบบกำหนด

การติดตั้ง Transverse Tendon ใน Top Slab ของ Segment

การดึงลวดอัดแรงใน Transverse Tendon ด้วยแรงที่แบบกำหนด

การปิดแบบด้านขวางของ Segment ด้วยตะแกรงเหล็กชุบสังกะสี เพื่อกั้นคอนกรีต

ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น คือ ไม่สามารถเดินเรือลอดใต้สะพานได้สะดวกขณะทำการก่อสร้าง

งานก่อสร้างทางลอด (Underpass)

บทนำ

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 ระหว่างก่อสร้างต้องมีการตรวจสอบความสมบูรณ์ คุณภาพในการทำงานอย่างสม่ำเสมอ

ข้อมูลเบื้องต้น

1. รูปแบบและสัญญาก่อสร้างที่ประกอบไปด้วยค่าระดับดินเดิมและค่าระดับก่อสร้าง ค่าระดับและมิติของโครงสร้าง ความสูงของช่องลอด (Clearance) หรือรายละเอียดอื่นๆที่เกี่ยวข้อง
   - ข้อมูลชั้นดิน (Boring log) ของสภาพดินเดิม บริเวณก่อสร้าง
   - ขนาดและรายละเอียดของผนังนำร่อง(Guide Wall) ค่า k การเคลื่อนตัวในแนวดิ่งที่ยอมให้ไม่เกิน 1:200 และเบี่ยงเบนจากแนวศูนย์กลางได้ไม่เกิน 15 ม.ม. หรือตามแบบกำหนด
   - ขนาดและความกว้างของผนังพืด (Diaphragm Wall)
   - รายละเอียดรอยต่อ ระบบกันซึมระหว่างผนังพืด
   - ขั้นตอนการขุดและการเทคอนกรีตผนังพืด
2. ข้อมูลประกอบของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (Drilling Fluid)
   - รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการผสม การใช้งาน การขนถ่าย
   - การทำความสะอาด การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกลศาสตร์เพื่อนำมาใช้อีก
3. ข้อมูลประกอบในการตรวจสอบการทำงาน
   - การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างอาคารบริเวณใกล้เคียง ก่อนและหลังการดำเนินการก่อสร้าง
   - ค่าพิกัดต่างๆของผนังพืด (Diaphragm Wall) และค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งที่ยอมให้ของผนังพืดที่เกิดจากการขุด ไม่เกิน 1:120 หรือตามแบบกำหนด

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องจักรขุดดินสำหรับก่อสร้างผนังพืดแบบ Cable hang grab (รูปที่ 1)
- เครื่องแยกตะกอนทรายออกจากของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (Desander Unit) (รูปที่ 2)
- เครื่องผสมของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (รูปที่ 3)
- เครื่องสูบของเหลวพยุงเสถียรภาพออกจากหลุมเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8″ เพื่อนำมาปรับปรุงคุณสมบัติให้เป็นไปตามข้อกำหนด (รูปที่ 4)
- เครื่องสูบของเหลวพยุงเสถียรภาพเข้าไปในหลุมเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4″ เพื่อนำของเหลวพยุงเสถียรภาพที่ได้มาตรฐานเข้าไปแทนที่ดินที่ขุดออก (รูปที่ 5)
- รถยกตีนตะขาบ (Crawler Crane) (รูปที่ 6)
- ถังเก็บพร้อมของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะที่มีความจุไม่น้อยกว่า 2.5 เท่าของปริมาณที่ใช้สำหรับหลุมเจาะแต่ละครั้ง (รูปที่ 7)
- ชุดทดสอบคุณสมบัติของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (รูปที่ 8)
- แบบหล่อปิดปลายผนังพืด (Stop End Plates) ที่มีช่องสำหรับติดตั้งแผ่นยางกันน้ำรั่วซึมใช้สำหรับกั้นปลายร่องขุดเพื่อเทคอนกรีต (รูปที่ 9)
- ท่อสำหรับเทคอนกรีต (Tremie Pipe) ใช้สำหรับเทคอนกรีตลงในหลุมที่ขุดเจาะ (รูปที่ 10)
- แผ่นยางกันน้ำรั่วซึมระหว่างผนังพืด (Water Stop) (รูปที่ 11)
- รถ Backhoe ทำหน้าที่ขุดดินและแต่งดินคันทาง
- รถบดอัดชั้นดิน ล้อยางและล้อเหล็ก
- รถ Grader ทำหน้าที่ปรับระดับดินให้ได้ตามแบบที่กำหนด

รูปที่ 1 เครื่องจักรขุดดินสำหรับก่อสร้างผนังพืดแบบ Cable hang grab

รูปที่ 2 เครื่องแยกตะกอนทรายออกจากของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (Desander Unit)

รูปที่ 3 เครื่องผสมของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ

รูปที่ 4 เครื่องสูบของเหลวพยุงเสถียรภาพออกจากหลุมเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8"

รูปที่ 5 เครื่องสูบของเหลวพยุงเสถียรภาพเข้าไปในหลุมเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4"

รูปที่ 6 รถยกตีนตะขาบ (Crawler Crane)

รูปที่ 7 ถังเก็บของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ

รูปที่ 8 ชุดทดสอบคุณสมบัติของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ

รูปที่ 9 แบบหล่อปิดปลายผนังพืด (Stop End Plates)

รูปที่ 10 ท่อสำหรับเทคอนกรีต (Tremie Pipe)

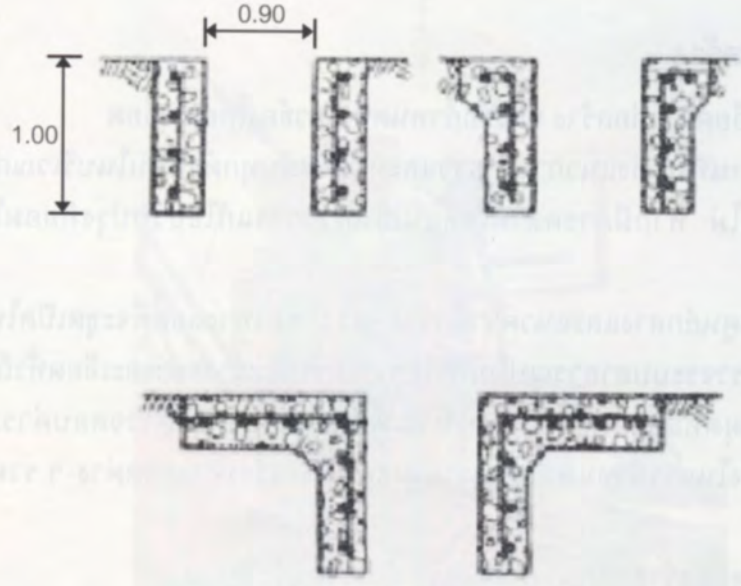
รูปที่ 11 แผ่นยางกันน้ำรั่วซึม (Water Stop)

ขั้นตอนเตรียมการก่อสร้าง

- ศึกษารูปแบบรายละเอียดการก่อสร้าง และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องโดยละเอียด
- ตรวจสอบหมุดหลักฐานที่ใช้วางแนวการสำรวจและหมุดระดับทุกตัวที่พบในบริเวณก่อสร้างว่าถูกต้องตามแบบกำหนดหรือไม่ หากมีการคลาดเคลื่อนเกินกว่าการแก้ไขปรับปรุงที่ยอมให้ต้องแจ้งสำนักเจ้าของงาน
- ทำการสำรวจวางแนวศูนย์กลางและแนวความกว้าง ยาว ของทางลอดที่จะขุดเปิดให้เป็นไปตามแบบกำหนด รวมถึงการสำรวจระบบสาธารณูปโภคที่กีดขวางการก่อสร้างอย่างละเอียดทั่วถึงเพื่อการรื้อย้าย
- จัดทำค่าระดับจากหมุดหลักฐานอ้างอิงในบริเวณพื้นที่ก่อสร้างและตรวจสอบค่าระดับโดยละเอียดเพื่อให้เกิดความถูกต้องในการกำหนดระดับความสูงของโครงสร้างทางลอดต่าง ๆ รวมทั้งกำแพงกันดินด้วย
- จัดทำแบบรายละเอียดก่อสร้าง (Shop Drawings) ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน
- จัดเตรียมแผนการจราจรระหว่างการก่อสร้างพร้อมติดตั้งป้ายสัญญาณจราจร ไฟฟ้าแสงสว่าง ตามแบบของกรมทางหลวงเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ถนน
- ตรวจสอบความพร้อมของผู้รับจ้างเช่น การจัดเตรียมวัสดุ เครื่องจักร เครื่องมืออุปกรณ์ก่อสร้าง รวมทั้งบุคคลากร ให้เป็นไปตามรายละเอียดแผนการดำเนินงานที่ได้รับการอนุมัติเห็นชอบ
- กำหนดแนว ขนาด ผนังนำร่อง (Guide Wall) เพื่อความสะดวกในการทำงาน

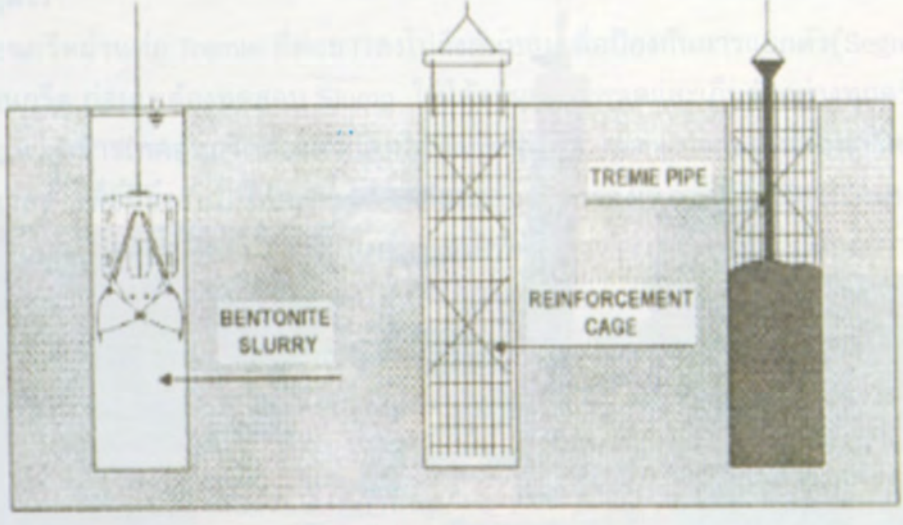
ขั้นตอนการก่อสร้าง

- 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
- ขุดดินระหว่างช่องผนังนำร่อง (Guide Wall) เพื่อก่อสร้างผนังพืด (Diaphragm Wall) ให้ได้ความลึกตามที่กำหนด ในระหว่างการขุดต้องเติมของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะแทนที่ดินขุด เพื่อป้องกันผนังหลุมขุดพัง ต้องรักษาคุณภาพของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะให้เป็นไปตามข้อกำหนดและให้มีระดับความสูงไม่ต่ำกว่าส่วนล่างของผนังนำร่อง
- อ่านค่าความลึกหลุมขุดจาก Meter ที่ติดตั้งบนเครื่องมือขุดและอาจตรวจสอบความลึกโดยใช้เทปวัดอย่างน้อย 6 จุด คือที่มุมทั้งสี่ด้าน และกึ่งกลาง Panel ทั้งสองข้าง
- จดบันทึกรายละเอียด ข้อมูลความหนาของชั้นดิน ความลึกของหลุมขุด คุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ(ตามตัวอย่างตารางที่แสดงแนบ)



แบบต่าง ๆของ Guide Wall

แสดงหลุมขุดระหว่าง Guide Wall



ขั้นตอนการก่อสร้าง Diaphragm Walls

การขุด Diaphragm Wall

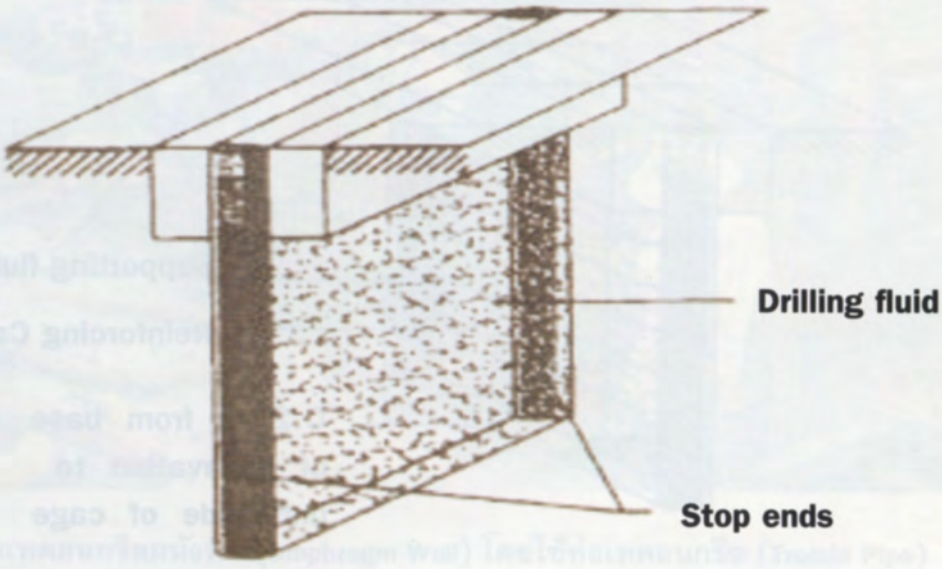
ท่อดูดทำความสะอาดก้นหลุม

ขุดติดตั้ง Recycle Bentonite Slurry

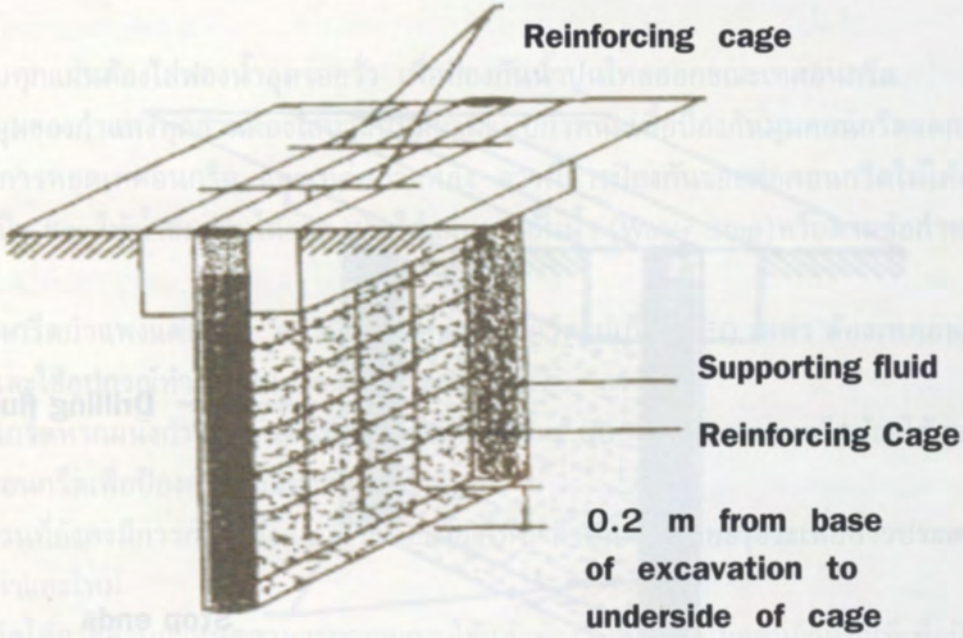
- ติดตั้งแบบหล่อปิดปลายผนังพืด (Stop End Plate) ที่ออกแบบให้สามารถติดตั้งแผ่นยางกันน้ำ (Water Stop) ในแนวดิ่งได้ และนำของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนด ลงในของเหลวในหลุมเจาะ
- ตรวจสอบความลึก ความกว้าง และความดิ่งแล้ว นำเหล็กเสริมที่ผูกเตรียมไว้ตามแบบกำหนดติดตั้งในหลุมเจาะที่ขุดไว้
- ทำการเทคอนกรีตผ่านท่อ Tremie ที่ต่อยาวลงไปถึงก้นหลุมเพื่อป้องกันการแยกตัว(Segregration) ของส่วนผสมคอนกรีต ก่อนเทต้องทดสอบ Slump ให้ได้ตามข้อกำหนดและเก็บตัวอย่างทุกครั้งเมื่อมีการเทคอนกรีต ระหว่างการเทคอนกรีตต้องควบคุมให้ปลายของท่อ Tremie จมอยู่ในคอนกรีตอย่างน้อย 1 เมตรตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนดินหรือตะกอนของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเข้ามาปะปนกับคอนกรีต ต้องเทคอนกรีตให้สูงกว่าระดับที่ต้องการ (Cut off) ไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร ในกรณีที่พบคอนกรีตไม่ดีใต้ระดับ Cut off ให้สกัดออกจนถึงคอนกรีตที่ดี
- ภายหลังจากก่อสร้างผนังพืดแล้วเสร็จและสามารถรับกำลังได้ตามข้อกำหนด ให้สกัดผนังนำร่อง (Guide Wall) ออกแล้วทำการก่อสร้างคานยึด (Cap Beam) บนผนังพืด
- กรณีที่แบบให้ก่อสร้างเสาเข็มรับพื้นทางลอด (Base Slab) วิธีการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามรายละเอียดงานเสาเข็มตอกหรือเสาเข็มเจาะตามแบบกำหนด
- ขณะทำการขุดดินระหว่างผนังพืดเพื่อก่อสร้างพื้นทางลอด (Base Slab) ต้องตรวจสอบการเคลื่อนตัวของผนังพืด (Diaphragm Wall)หากมีการเคลื่อนตัวของผนังพืดเกินกว่า 10 มม.ที่ระดับความลึกไม่เกิน 3 เมตร หรือเกินกว่า 20 มม. ที่ระดับความลึกระหว่าง 3 ถึง 6 เมตรหรือเกินกว่า 25 มม. ที่ระดับความลึกเกิน 6 เมตร ต้องหยุดดำเนินการขุดดินและหาแนวทางวิธีการป้องกันแก้ไข
- ขุดดินออกพร้อมทั้งปรับดินพื้นที่ก่อสร้างหลังจากขุดดินแล้วตามค่าระดับที่กำหนดจากแบบรายละเอียดก่อสร้าง (Shop Drawings) แล้วทำการก่อสร้างพื้นทางลอด (Base Slab) โดยให้ขุดลึกจนถึงระดับตาม

แบบกำหนด พร้อมทั้งให้มีวิธีป้องกันการรั่วซึมของน้ำผ่านพื้นทางลอดเนื่องจากไม่สามารถเทคอนกรีตให้แล้วเสร็จในคราวเดียว

- กำหนดระดับและความกว้าง ความยาว ระดับคอนกรีตหยาบ แล้วเทคอนกรีตหยาบ (Lean Concrete) รองพื้นทางลอด
- กำหนดตำแหน่งของพื้นทางลอด (Base Slab) และแนวกำแพงกันดิน (Retaining Wall) เพื่อความถูกต้องในการผูกเหล็ก
- ประกอบแบบพื้นพร้อมกับการผูกเหล็กเสริมพื้น ส่วนเหล็กกำแพงกันดินให้ผูกยึดกับเหล็กพื้นทางลอดตามแนวตำแหน่งกำแพงกันดินที่ได้กำหนดไว้ เหล็กกำแพงกันดินถ้ามีความสูงมากต้องยึดและค้ำไว้ไม่ให้ล้มหรือเอียง
- กำหนดระดับเทคอนกรีตของพื้นทางลอดโดย ความหนาต้องไม้น้อยกว่าแบบกำหนด
- เทคอนกรีตพื้นทางลอดโดยให้เทต่อเนื่องจนแล้วเสร็จ
- เมื่อเทคอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงทำการบ่มคอนกรีตอาจใช้วิธีขังน้ำ หรือคลุมด้วยกระสอบชุ่มน้ำ
- กำหนดระดับความสูงกำแพงกันดินตามแบบรายละเอียด (Shop Drawings)
- ผูกเหล็กเสริมกำแพงกันดิน ตรวจสอบให้มีระยะหุ้มของคอนกรีต (Covering) ตามแบบกำหนด
- ประกอบแบบกำแพงกันดินทั้ง 2 ด้าน ตรวจสอบความดิ่ง ต้องไม่เกิน 1:200 พร้อมรัดแบบยึดและค้ำยันให้แข็งแรง ระยะคลาดเคลื่อนของแนวกำแพงต้องไม่มากกว่า 15 มม. หรือตามที่แบบกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น
- รอยต่อแบบทุกแผ่นต้องใส่ฟองน้ำอุดรอยรั่ว เพื่อป้องกันน้ำปูนไหลออกขณะเทคอนกรีต
- ขอบ และมุมของกำแพงทุกส่วนต้องใส่บัวลบมุมตามแบบกำหนดเพื่อป้องกันมุมคอนกรีตแตก
- กรณีต้องมีการหยุดเทคอนกรีต และเทต่อภายหลัง ควรมีการป้องกันรอยต่อคอนกรีตไม่ให้น้ำซึมผ่านได้โดยทำเป็น Key ให้น้ำซึมผ่านได้ยาก หรือใส่แผ่นยางกั้นน้ำ (Water Stop)หรือตามข้อกำหนดระบุไว้ในแบบ
- การเทคอนกรีตกำแพงแต่ละจุด ควรมีความหนาคอนกรีตไม่เกิน 0.50 เมตร ต้องเทคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง และใช้อุปกรณ์ทำให้คอนกรีตแน่นตัวขณะเท
- การเทคอนกรีตหากผนังกำแพงกันดินมีความสูงเกินกว่า 2.00 m. การเทคอนกรีตต้องใช้ท่อกรวยช่วยในการเทคอนกรีตเพื่อป้องกันการแยกตัวของส่วนผสม
- คอนกรีตส่วนที่ยังคงมีการก่อสร้างคอนกรีตต่อเนื่องให้ทำผิวปูนเป็นรอยขรุขระเพื่อการประสานกันของคอนกรีตเก่าและใหม่
- เมื่อคอนกรีตได้อายุครบกำหนดสามารถถอดแบบได้แล้วต้องรีบทำการบ่มคอนกรีตทันทีเพื่อป้องกันการแตกร้าว
- ภายหลังการถอดแบบ หากคอนกรีตมีความบกพร่อง ต้องรับดำเนินการแก้ไขซ่อมแซมโดยความเห็นชอบของนายช่างควบคุมงาน
- ตกแต่งผิวของผนังพืดหรือกำแพงกันดิน (Finishing) ด้านในด้วยแผ่นหินแกรนิตแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จหรือตามแบบกำหนด
- ตรวจสอบการแตกร้าวของผนัง การรั่วซึมของน้ำในอุโมงค์ทางลอด หากเกิดขึ้นให้ดำเนินการแก้ไข



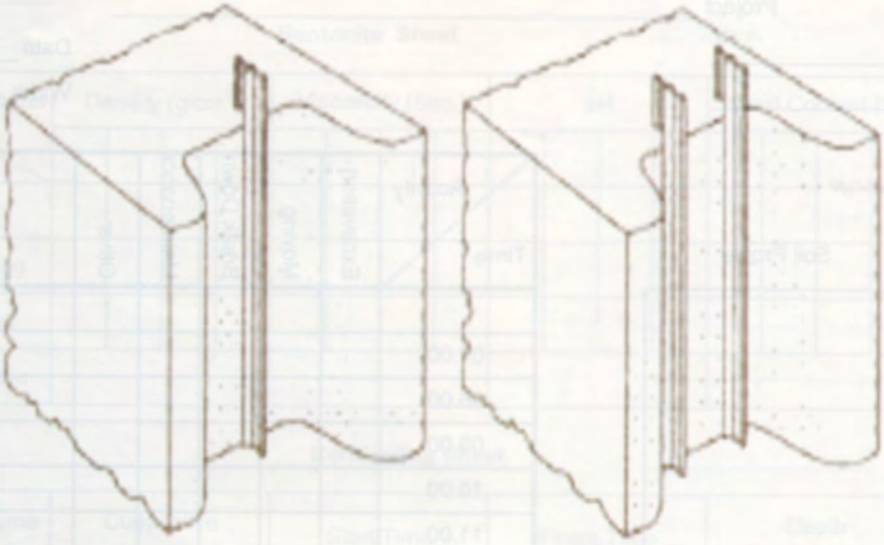
การติดตั้ง Stop End Plates



การติดตั้งเหล็กเสริมที่เตรียมไว้ลงในหลุมแจาะผนังพืด

การเทคอนกรีตผนังพืด (Diaphragm Wall) โดยใช้ท่อเทคอนกรีต (Tremie Pipe)

การปรับความยาวท่อให้เหมาะสมและสัมพันธ์กับปริมาณคอนกรีต



วิธีการติดตั้งแผ่นยางกันน้ำรั่วซึมกับแบบปิดปลายหลุมขุด

การเทคอนกรีต Base Slab

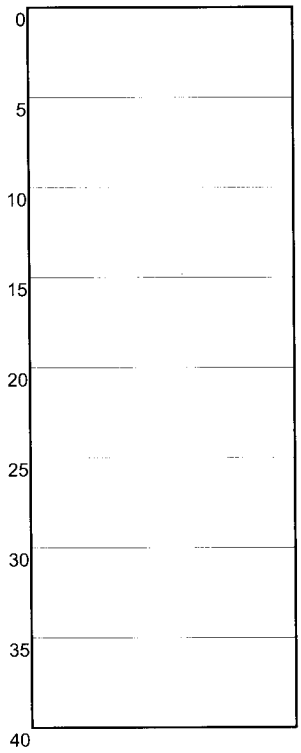
Excavation Sheet

Project _____

Panel No. _____ Date _____

Panel Depth _____ Width _____

Soil Profile



Time \ Activity	Excavation	Moving	Break Down	Maintenance	Other	Remarks
07.00						
08.00						
09.00						
10.00						
11.00						
12.00						
13.00						
14.00						
15.00						
16.00						
17.00						
18.00						
19.00						
20.00						
21.00						
22.00						
23.00						
24.00						

Next Panel No. _____ Excavator _____

Machine No. _____ Weather _____

Project_____ Date_____

Pile No. _____

Bentonite Sheet

Parameter / Test Result	Density (g/cm^3)				Viscoscity (Sec.)				pH				Sand Content (%)				Remarks
Daily																	
Before Concreting																	
After Concreting																	
Acceptance Range																	

ConCreting Sheet

Ticket No.	Volume (m^3)	Cumulative Volume (m^3)	Start Time	Finish Time	Depth (m)	Remarks

Pile No.	Theorical Volume (m3)	Actual Volume (m3)	Overbreak (%)

Foreman_____ Engineer_____

ปัญหาและแนวทางแก้ไข

สาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphragm Wall เกิดความบกพร่องจากสภาพชั้นดินที่ก่อสร้าง

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	แนวทางการแก้ไข
1. ไม่มีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำใต้ดินทำให้คุณภาพของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากน้ำใต้ดินอาจมีสภาพความเป็นกรดหรือด่าง	1. ทำการทดสอบหาระดับน้ำใต้ดินและหาค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของน้ำใต้ดิน
2. คุณสมบัติความไวตัว (Sensitivity) ของชั้นดินอ่อนทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงขณะเจาะ จะทำให้หลุมเจาะพังง่าย หรือเกิดการเคลื่อนตัวทำให้หลุมเจาะแคบลง	2. ตรวจสอบความเข้มข้นและคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเพื่อป้องกันการพังทลายของหลุมเจาะ
3. ชั้นทรายหลวม (Loose Sand) ทำให้ร่องขุดพังได้ง่าย หรือทำให้ร่องขุดเกิดการบีบตัวแคบลง	3. ตรวจสอบความเข้มข้นและคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเพื่อป้องกันการพังทลายของหลุมเจาะ

สาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphragm Wall เกิดความบกพร่องจากการเตรียมงานไม่ดี

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	แนวทางการแก้ไข
4. Surcharge มากไปข้างหลุมเจาะ ทำให้ Guide Wall และร่องขุดพังได้ง่าย เพราะน้ำหนักกดที่สูงจะทำให้เกิดแรงดันดินด้านข้างที่สูงตามไปด้วย	4. จัดขั้นตอนการก่อสร้างและการจราจรให้เหมาะสม ไม่ให้เกิด Surcharge ข้างหลุมเจาะ
5. มีน้ำผิวดินไหลซึมลงในชั้นดินใกล้หลุมเจาะ อาจเกิดจากน้ำฝน หรือร่องน้ำเดิม จะทำให้ Guide Wall และร่องขุดพังได้ง่าย	5. ระบายการไหลของน้ำบริเวณ Guide Wall ไม่ให้มีการไหลซึมลงชั้นดินใกล้หลุมเจาะ

สาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphragm Wall เกิดความบกพร่องจากการก่อสร้าง Guide Wall ไม่ดีพอ

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	แนวทางการแก้ไข
6. ดินใต้และหลัง Guide Wall บดอัดไม่แน่นพอ ทำให้ Guide Wall พัง หรือบิดเบี้ยวได้ง่าย ทำให้ร่องขุดไม่ตรง, และไม่ได้แนว	6. บดอัดดินใต้และหลัง Guide Wall ให้แน่นเพียงพอ เพื่อไม่ให้ Guide Wall พังหรือบิดตัว
7. Guide Wall สร้างไม่ได้ดิ่ง ทำให้ Diaphragm Wall เอียงและทำให้ลงโครงเหล็กลำบาก	7. ตรวจสอบแนวดิ่งของ Guide Wall
8. ความลึกของ Guide Wall ไม่เพียงพอ อาจทำให้เกิดการเอียงตัวของ Diaphragm Wall	8. เพิ่มความลึกของ Guide Wall

สาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphragm Wall เกิดความบกพร่องจากการขุด

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	แนวทางการแก้ไข
9. ขุดหลุมเจาะไม่ได้ดิ่ง ทำให้ลงโครงเหล็กไม่ได้ และทำให้รอยต่อระหว่างแผงไม่สนิททำให้น้ำรั่วและกำแพงโย้ไปมาไม่ได้แนว	9. ตรวจสอบระยะดิ่งของหัวเจาะ (Grab) เป็นระยะๆ ในการทำงาน
10. รอยต่อระหว่างผนังพืด ไม่สะอาดพอก่อนเทคอนกรีต ทำให้เกิดโพรงที่รอยต่อ และทำให้มีน้ำรั่วที่รอยต่อ	10. ตรวจสอบบริเวณรอยต่อของไดอะแฟรมวอลล์ก่อนทำการเทคอนกรีต ไม่ให้มีดินติดอยู่บริเวณรอยต่อ

สาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphragm Wall เกิดความบกพร่องของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	แนวทางการแก้ไข
11.ใช้ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะที่สกปรกมากเกินไป (ใช้หลายครั้งเกินไป) มีปริมาณไม่พอหมุนเวียนอาจทำให้ร่องขุดบีบตัวหรือพังได้โดยง่าย	11.หมั่นตรวจสอบและปรับปรุงคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะให้มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดที่ใช้งานได้อยู่เสมอ

สาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphragm Wall เกิดความบกพร่องของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (ต่อ)

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	แนวทางการแก้ไข
12. มีตะกอนจากของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะมากเกินไป (Flocoulated Sediment) ทำให้คุณภาพคอนกรีตที่เทลงไปคุณภาพต่ำ,และตะกอนจะแทรกตัวในเนื้อคอนกรีต,รอยต่อรั่วได้ง่าย	12.หมั่นตรวจสอบและปรับปรุงคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ ทำความสะอาดก้นหลุมเจาะก่อนทำการเทคอนกรีต

สาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphram Wall เกิดความบกพร่องของการเทคอนกรีตใต้น้ำ

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	แนวทางการแก้ไข
13. Slump ต่ำเกินไป ทำให้เกิดรูพรุน, เป็นโพรงแทรกตัวในคอนกรีตได้	13. ปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตให้ได้ตามข้อกำหนดที่ใช้งานได้
14. Slump มากเกินไป ทำให้เกิดการแยกตัวของคอนกรีตขณะเท	14. ปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตให้ได้ตามข้อกำหนดที่ใช้งานได้
15. การชักท่อ Tremie ขึ้น-ลงบ่อย ๆ มีโอกาสทำให้เบนโทไนท์แทรกตัวฝังในเนื้อคอนกรีต	15. ตรวจสอบ Slump ของคอนกรีตให้ไหลได้ดี เพื่อไม่ให้ต้องชักท่อ Tremie ขึ้นลงบ่อยๆ เนื่องจากเทคอนกรีตไม่ลง
16. การวางท่อ Tremie ห่างรอยต่อแผงมากเกินไป ทำให้คอนกรีตไม่สามารถดันสิ่งสกปรกบริเวณรอยต่อแผงออกหมดทำให้รอยต่อรั่ว	16. จัดตำแหน่งของท่อ Tremie ให้มีระยะห่างกับรอยต่อที่เหมาะสม ที่จะสามารถดันสิ่งสกปรกได้หมด
17.การยกท่อ Tremie พ้นระดับคอนกรีตทำให้คอนกรีตขาดตอน	17. วางระดับปลายท่อ Tremie ให้จมอยู่ในเนื้อคอนกรีตที่เทอย่างเหมาะสม
18. เทคอนกรีตคันแรกทะลุโฟม (Plug) ทำให้คอนกรีตพรุน,เป็นโพรง,แยกตัว ผสมกับสารละลายและตะกอน,ท่อเทคอนกรีตอาจอุดตัน	18. ใส่เม็ดโฟมให้มีความหนาเพียงพอ และเทคอนกรีตให้ต่อเนื่องกัน

สรุป

การก่อสร้างทางลอดสำหรับงานของกรมทางหลวงที่ใช้ Diaphragm Wall เป็นโครงสร้างถาวรของทางลอด โดยทำหน้าที่เป็นทั้งกำแพงกันดินของโครงสร้างและทำหน้าที่รับน้ำหนักของสะพานข้ามทางลอดที่ระดับผิวถนนเดิม (Load Bearing Element) ด้วย ปัจจุบันนิยมก่อสร้างทางลอดบริเวณทางแยกของเมืองใหญ่ๆที่มีประชากรหนาแน่นและมีการจราจรที่แออัดเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการบดบังทัศนียภาพ ในการปฏิบัติงานก่อสร้างทางลอดนั้น นอกจากต้องพิจารณาถึงคุณภาพและกำลังอัดของคอนกรีตแล้ว ควรต้องคำนึงถึงคุณภาพของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะด้วย เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้คุณภาพและความแข็งแรงของ Diaphragm Wall ไม่ได้มาตรฐาน ปัจจุบันในทางปฏิบัติยังไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะในการก่อสร้างของกรมทางหลวง แต่เพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและได้มาตรฐาน ต้องอาศัยข้อกำหนด มาตรฐานและวิธีทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากบริษัทผู้ผลิตและวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) เป็นแนวทางอ้างอิงประกอบการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

1. กรมทางหลวง, 2536, รายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 2
2. ณรงค์ ทัศนิพันธ์ และทัชชะพงษ์ ประเวศวรารัตน์ (2542), กำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในชั้นดินกรุงเทพ
3. ความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นและการป้องกัน, การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2524, จัดโดย วสท.
4. ณรงค์ ทัศนิพันธ์ (2539), ประสบการณ์การก่อสร้างทางรถวิ่งใต้ดินโดยใช้ระบบ Diaphragm Wall, การสัมมนาทางวิชาการประจำปี 2524

ท่อเหลี่ยม คสล. (R.C. Box Culvert)

บทนำ

การระบายน้ำของงานทาง ซึ่งมีทั้งการระบายตามแนวถนนและการระบายผ่านแนวถนน ท่อที่ใช้ มีทั้งท่อกลม คสล. (R.C. Pipe Culvert) ท่อเหลี่ยม คสล. (R.C. Box Culvert) โดยปกติใช้ท่อเหลี่ยม คสล. ระบายน้ำกับทางน้ำที่ใหญ่เกินกว่าจะใช้ท่อกลมได้ มีสิ่งลอยน้ำไม่หนาแน่นมากและสามารถลอยลอดผ่านได้ บริเวณที่ก่อสร้างท่อเหลี่ยม คสล. ต้องไม่มีการกัดเซาะจากกระแสน้ำเพราะอาจเป็นเหตุให้เกิดการเสียหายกับคันทางได้ ควรพิจารณาใช้โครงสร้างแบบอื่นเพื่อการระบายน้ำผ่านแนวถนนในบริเวณที่มีการกัดเซาะจากกระแสน้ำ เช่น สะพาน เป็นต้น

ท่อเหลี่ยม คสล. แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ชนิดหล่อในที่ (Cast In Situ) มีทั้งแบบท่อเดี่ยว (Single Cell) และแบบท่อตับ (Multiple Cells) แบบมาตรฐานของกรมทางหลวงกำหนดขนาดท่อเหลี่ยมไว้ตั้งแต่ (0.60 x 0.60) ถึงขนาด (1.80 x 1.80) เมตร มีดินถมหลังท่อได้ตั้งแต่ 0 - 2.25 เมตร ส่วนขนาดท่อเหลี่ยมแบบ Rigid Frame กำหนดขนาดตั้งแต่ (2.10 x 1.80) ถึงขนาด (3.60 x 3.60) เมตร โดยมีดินถมหลังท่อได้มากตั้งแต่ 0 – 15.0 เมตร
2. ชนิดหล่อสำเร็จรูปจากโรงงาน (Precast Box Culvert) ท่อเหลี่ยม คสล. สำเร็จรูปมี 2 แบบ คือ แบบที่รับดินถมหลังท่อสูงไม่เกิน 0.60 เมตร ใช้สำหรับการระบายน้ำตามแนวยาวของถนน และแบบที่รับดินถมหลังท่อสูงตั้งแต่ 0.60 เมตร ถึง 5.50 เมตร ใช้สำหรับระบายน้ำผ่านแนวถนน ท่อเหลี่ยมสำเร็จรูปที่ผลิตทั่วไปมีพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีตั้งแต่ขนาด (1.20 x 1.20) เมตร ถึง (2.40 x 2.40) เมตร การติดตั้งท่อสามารถทำได้โดยการนำมาเรียงชิดกันตามความยาวที่ต้องการแล้วยาแนวด้วยคอนกรีตมอตาร์เพื่อป้องกันดินไหลเข้าไปในท่อและป้องกันการกัดเซาะดินบริเวณรอบท่อด้วย

ข้อมูลเบื้องต้น

1. ลักษณะภูมิประเทศ, ขนาดและลักษณะของลำน้ำข้อมูลทางธรณีวิทยา เช่น ลักษณะดินของท้องน้ำ
2. ข้อมูลทางการสำรวจ เช่น ค่าระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุด แนวของลำคลองทำมุมกับแนวทาง ข้อมูลสถิติเกี่ยวกับน้ำท่วม ตำแหน่งที่ตั้ง (กม.) มีการจราจรทางน้ำหรือไม่ อุปสรรคต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการไหลของน้ำ เพื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบรายละเอียดก่อสร้าง
3. ข้อมูลการจราจรแผนจัดการจราจร ปิดการจราจร เบี่ยงการจราจร เพื่อทำการก่อสร้าง

ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก (R.C. Box Culvert)

1. ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่ (Cast in situ)

การเตรียมงานฐานราก (Bedding)

- ก่อนเริ่มดำเนินงานฐานรากให้สำรวจสภาพดินเดิมบริเวณที่จะก่อสร้าง
- ในกรณีที่ระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมสูงกว่าระดับทางน้ำไหลให้พิจารณาลดระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมลงโดยมีความหนาดินถมหลังท่อ (Back Fill) เป็นไปตามที่กำหนดไว้ ในแบบมาตรฐานของกรมทางหลวง และไม่ทำให้ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างเปลี่ยนแปลง หากโครงสร้างของท่อเหลี่ยมเปลี่ยนแปลง ให้รายงานสำนักเจ้าของงานก่อนดำเนินการ
- ในกรณีที่ระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยม ต่ำกว่าระดับทางน้ำไหล ให้พิจารณายกระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมขึ้นโดยมีความหนาดินถมหลังท่อ (Back Fill) เป็นไปตามที่กำหนดไว้ ในแบบมาตรฐานของกรมทางหลวง และไม่ทำให้ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างเปลี่ยนแปลง หากโครงสร้างของท่อเหลี่ยมเปลี่ยนแปลง ให้รายงานสำนักเจ้าของงานก่อนดำเนินการ
- ให้พิจารณาตำแหน่งของท่อเหลี่ยมให้สอดคล้องกับทิศทางการไหลของน้ำทั้งทางด้านที่น้ำไหลเข้า (Inlet) และทางด้านที่น้ำไหลออก (Outlet) ให้เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงในสนาม โดยให้คำนึงถึงเมื่อหากมีการก่อสร้างเต็มเขตทางด้วย
- ในกรณีที่ท่อเหลี่ยมทำมุมกับแนวทาง (Skew) คลาดเคลื่อนกับแบบก่อสร้าง ทำให้มีปริมาณงานเปลี่ยนแปลงให้แจ้งสำนักเจ้าของงานก่อนดำเนินการ
- ก่อนการก่อสร้างให้ปรับระดับพื้นดินรองรับท่อเหลี่ยมให้เรียบร้อยพร้อมเทคอนกรีตหยาบส่วนผสม1:3:6 โดยปริมาตร ความหนา 0.10 ม. เว้นแต่แบบกำหนดเป็นอย่างอื่น
- ถ้าดินใต้ระดับพื้นท่อเหลี่ยมที่เตรียมเทคอนกรีตหยาบเป็นดินอ่อนมากให้ขุดออก แล้วแทนที่ด้วยวัสดุทรายถมให้แข็งแรงพอต่อการเทคอนกรีตหยาบรองพื้น

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม การใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้ ผู้รับจ้างต้องเสนอขออนุมัติ Mix Design และทำการทดสอบกำลังรับอัดแรงของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion) ความสะอาดของหินหรือกรวด และทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ มีความแข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้

- ตรวจชนิด ขนาด จำนวน ระยะห่าง ระยะทาบ ตำแหน่งการทาบ ความสะอาด ไม่มีสนิมขุม ของเหล็กเสริม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและข้อกำหนด
- ตรวจระยะ Covering ให้ตรงตามข้อกำหนด เหล็กเสริมชั้นบนต้องมีขาหยั่ง (Bar Chair) รองรับให้แข็งแรงไม่ทรุด
- ตรวจตำแหน่ง ขนาดอุปกรณ์เหล็ก Dowel ที่ต้องฝังและช่องเจาะต่างๆ ให้ครบถ้วนตามแบบ
- จัดเตรียมจำนวนคนงานและช่าง เครื่องมืออุปกรณ์ในการเทคอนกรีต ให้เพียงพอกับลักษณะงานและปริมาณงาน
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม
- ตรวจความสะอาดครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีตและต้องเตรียมอุปกรณ์ป้องกันกรณีฝนตกขณะเทคอนกรีต

งานเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากช่างผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วนผสมหรือข้อกำหนด
- หากใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ให้ควบคุมเวลาในการผสมให้เหมาะสม
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ตรวจสอบการขนส่งคอนกรีตจากรถขนส่งไปยังจุดที่ต้องการเทโดยไม่ให้เกิดการแยกตัว ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยในการเทคอนกรีตเพื่อป้องกันการแยกตัวในกรณีที่ระยะปล่อยคอนกรีตสูงเกินกว่า 2.00 เมตร
- ตรวจสอบความข้นเหลว (Slump Test) ให้เหมาะสมกับงานที่จะเทและเป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบควบคุมให้มีการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Vibrator) อย่างถูกวิธี
- ขณะเทคอนกรีตให้เก็บแท่งคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อการทดสอบกำลังอัด
- ก่อนเทคอนกรีตใหม่เชื่อมกับคอนกรีตเก่าทุกครั้งให้ทำการสกัดผิวคอนกรีตเก่าให้ถึงหิน พร้อมกับทำความสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการราดน้ำปูน หรือน้ำยาประสานคอนกรีตบนผิวบริเวณที่เตรียมไว้แล้วเทคอนกรีตใหม่ทันที
- ขณะที่เทคอนกรีตต้องคอยตรวจสอบอุปกรณ์เหล็ก Dowel ช่องเจาะต่างๆ ไม่ให้มีการเคลื่อนที่จากเดิม
- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มทันที

งานหลังเทคอนกรีต

- การถอดแบบอนุญาตให้ทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตครบอายุ ตามข้อกำหนด ต่อไปนี้
  - แบบประกอบข้างคาน เสาและกำแพง 2 วัน
  - แบบประกอบด้านล่างรองรับคาน พื้นบน 14 วัน
  - ในกรณีที่ผู้รับจ้างต้องการถอดแบบเร็วกว่าข้อกำหนด กำลังรับแรงอัดแท่งคอนกรีตตัวอย่างของโครงสร้างนั้นต้องไม่น้อยกว่าค่ารับแรงอัดที่ 28 วัน

- เมื่อถอดแบบแล้วหากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีตให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไขต่อนายช่างควบคุมงานโดยทันที
- วัสดุที่ใช้สำหรับทำรอยต่อระหว่างตัวท่อเหลี่ยมและปากท่อการติดตั้งต้องปฏิบัติให้ได้ตามมาตรฐานและข้อกำหนด
- ตรวจสอบผลการทดลองการรับกำลังอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนดหากผลการทดลองไม่เป็นเป็นไปตามข้อกำหนด ให้ผู้ควบคุมงานรายงานสำนักเจ้าของงานทราบโดยทันที

รูปที่ 1 แสดงท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่ (Cast In Situ)

รูปที่ 2 แสดงส่วนชานหน้าท่อของท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่

รูปที่ 3 แสดงผนังด้านในของท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่

2. ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อสำเร็จจากโรงงาน (Precast Box Culvert)

สำหรับงานท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อสำเร็จจากโรงงานนั้น ในการควบคุมงานโครงสร้างผู้ควบคุมงานต้องควบคุมที่โรงงานผลิตท่อแล้วจึงขนส่งมาติดตั้งในที่ก่อสร้างที่ได้มีการดำเนินการเตรียมงานฐานราก (Bedding) ไว้แล้ว คุณลักษณะและมิติต่างๆของท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

การเตรียมงานฐานราก (Bedding)

- ก่อนเริ่มดำเนินงานฐานรากให้สำรวจสภาพดินเดิมบริเวณที่ก่อสร้าง ในกรณีที่ระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมสูงกว่าระดับทางน้ำไหลให้พิจารณาลดระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมลงโดยมีความหนาดินถมหลังท่อ (Back Fill) เป็นไปตามที่กำหนดไว้ ในแบบมาตรฐานของกรมทางหลวงและไม่ทำให้ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างเปลี่ยนแปลง หากโครงสร้างของท่อเหลี่ยม เปลี่ยนแปลงให้รายงานสำนักเจ้าของงานก่อนดำเนินการ
- ในกรณีที่ระดับพื้นท่อเหลี่ยม ต่ำกว่าระดับทางน้ำไหล ให้พิจารณายกระดับพื้นล่างท่อเหลี่ยมขึ้นโดยมีความหนาดินถมหลังท่อ (Back Fill) เป็นไปตามที่กำหนดไว้ ในแบบมาตรฐานของกรมทางหลวง และไม่ทำให้ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างเปลี่ยนแปลง หากโครงสร้างของท่อเหลี่ยมเปลี่ยนแปลง ให้รายงานสำนักเจ้าของงานก่อนดำเนินการ
- ให้พิจารณาตำแหน่งของท่อเหลี่ยมให้สอดคล้องกับทิศทางการไหลของน้ำ ทั้งทางด้านที่น้ำไหลเข้า (Inlet) และทางด้านที่น้ำไหลออก (Outlet) ให้เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงในสนาม โดยให้คำนึงถึงเมื่อหากมีการก่อสร้างเต็มเขตทางด้วย
- ในกรณีที่ท่อเหลี่ยมทำมุมกับแนวทาง (Skew) คลาดเคลื่อนกับแบบก่อสร้าง ทำให้มีปริมาณงานเปลี่ยนแปลงให้แจ้งสำนักเจ้าของงานก่อนดำเนินการ
- ก่อนการก่อสร้างให้ปรับระดับพื้นดินรองรับท่อให้เรียบร้อยพร้อมเทคอนกรีตหยาบส่วนผสม 1:3:6 โดยปริมาตร ความหนา 0.10 ม. โดยให้ค่าระดับคอนกรีตหยาบต่ำกว่าค่าระดับท้องท่อเหลี่ยมหล่อสำเร็จ 3 ซม. เว้นแต่แบบกำหนดเป็นอย่างอื่น
- ถ้าดินใต้ระดับพื้นท่อที่เตรียมเทคอนกรีตหยาบเป็นดินอ่อนมากให้ขุดออก แล้วแทนที่ด้วยวัสดุทรายถมให้แข็งแรงพอต่อการเทคอนกรีตหยาบรองพื้น

การดำเนินงานโครงสร้าง การหล่อท่อเหลี่ยมสำเร็จจากโรงงาน มีขั้นตอนดังนี้

- ตรวจสอบสภาพทั่วไปของโรงงาน สภาพการทำงาน สภาพอากาศและสิ่งอื่นๆ ที่มีผลต่องานโครงสร้าง Box Culvert
- ตรวจสอบแบบหล่อและขนาด

การเตรียมงานก่อนเทคอนกรีต

- ตรวจสอบอัตราส่วนผสม การใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ต้องทำการ Calibrate เครื่องชั่งให้ถูกต้อง กรณีที่แบบก่อสร้างไม่ได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้ ผู้รับจ้างต้อง

เสนอขออนุมัติ Mix Design และทำการทดสอบกำลังรับอัดแรงของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุส่วนผสมคอนกรีต คือ ประเภทปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบขนาดคละ (Gradation) ความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion) ความสะอาดของหินหรือกรวด และทราย ให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบแบบหล่อให้ได้ ตำแหน่ง ระดับ ขนาดบัวลบเหลี่ยม ไม่มีรอยรั่ว มีสภาพสมบูรณ์ มีความแข็งแรง เหมาะสมในการใช้งาน
- น้ำมันทาแบบต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนใช้
- ตรวจชนิด ขนาด จำนวน ระยะห่าง ระยะทาบ ตำแหน่งการทาบ ความสะอาด ไม่มีสนิมขุม ของเหล็กเสริม ให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดและข้อกำหนด
- ตรวจระยะ Covering ให้ตรงตามข้อกำหนด
- ตรวจตำแหน่ง ขนาดอุปกรณ์เหล็ก Dowel ที่ต้องฝัง และช่องเจาะต่างๆ ให้ครบถ้วนตามแบบ
- ในกรณี Box Culvert ที่เป็นท่อนปลายต้องเสริมเหล็ก Dowel ให้ยาวยื่นออกมาไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม เพื่อใช้ต่อชานปากท่อและกำแพงกันดิน
- จัดเตรียมจำนวนคนงานและช่าง เครื่องมืออุปกรณ์ในการเทคอนกรีตให้เพียงพอกับลักษณะงานและปริมาณงาน
- ตรวจแบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบความยุบตัว (Slump Test) ให้พร้อม

งานเทคอนกรีต

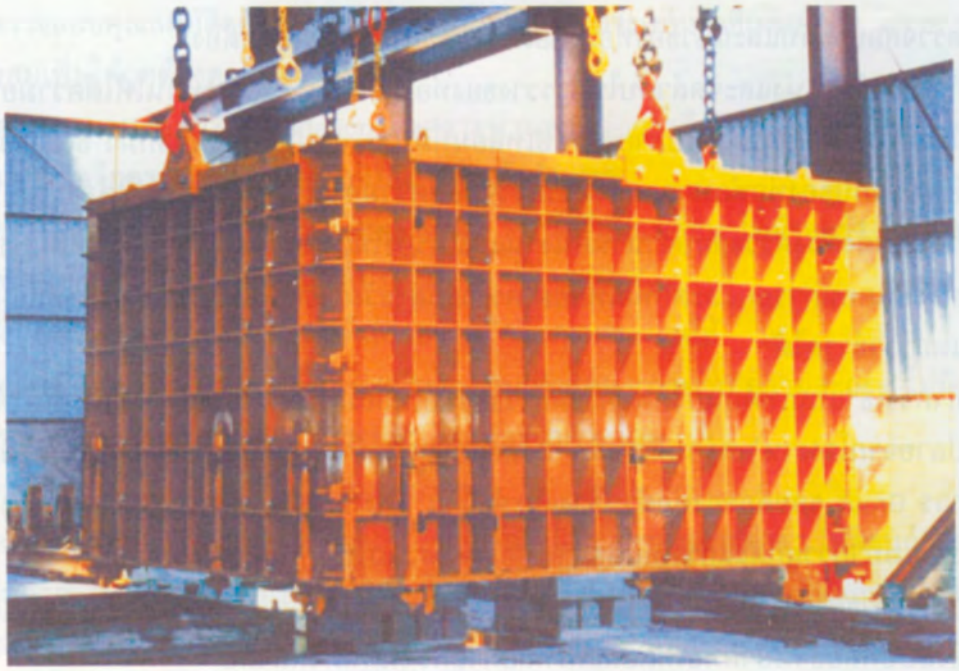
- การเทคอนกรีตต้องได้รับอนุญาตจากช่างผู้ควบคุมงานก่อนทุกครั้ง
- ตรวจสอบส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วนผสมหรือข้อกำหนดหากใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ให้ควบคุมเวลาในการผสมให้เหมาะสม
- ห้ามนำคอนกรีตที่ผสมแล้วนานเกินกว่า 45 นาทีมาใช้ ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารหน่วงการก่อตัว
- ตรวจสอบแบบหล่อและขนาดก่อนเทคอนกรีต
- ตรวจสอบตำแหน่ง ขนาดระยะของเหล็กเสริม รวมทั้งตำแหน่งและความแข็งแรงของเหล็กหูยก
- เทคอนกรีต ในแบบที่เตรียมไว้

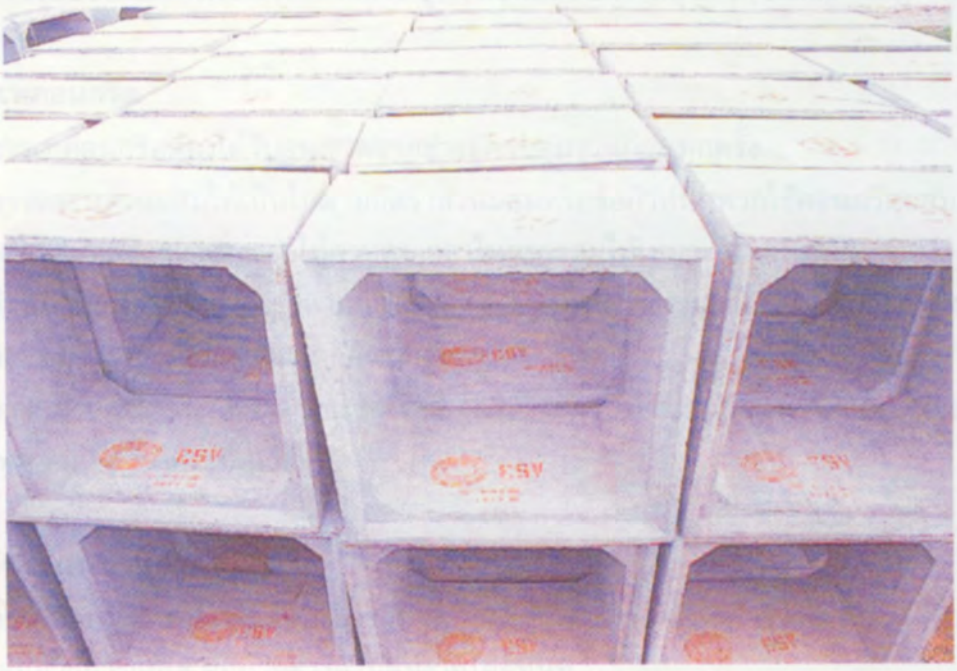
งานหลังเทคอนกรีต

- ตรวจสอบสภาพคอนกรีตหลังการถอดแบบ หากพบว่ามีความบกพร่องของคอนกรีตให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการแก้ไข ต่อนายช่างควบคุมงานโดยทันที
- ตรวจสอบผลการทดลองการรับกำลังอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนดหากผลการทดลองไม่เป็นเป็นไปตามข้อกำหนด ให้ผู้ควบคุมงานรายงานสำนักเจ้าของงานทราบโดยทันที
- ควบคุมการบ่มคอนกรีต การกองเก็บ และการขนส่ง

งานติดตั้งในสนาม

- ตรวจสอบระดับและแนวของท่อเหลี่ยม ที่จะทำการติดตั้งให้ถูกต้อง
- กำหนดตำแหน่งและจัดลำดับในการวางของท่อเหลี่ยม แต่ละท่อนให้ได้ความยาวรวมตามที่แบบกำหนด ส่วนท่อนปลายของท่อเหลี่ยมที่มี Dowel เสียบเสริมออกมา ซึ่งอาจจะมีความยาวที่ไม่เท่ากับของท่อท่อนกลาง จึงควรตรวจสอบความยาวให้ถูกต้องตามที่ได้สั่งผลิต
- ก่อนติดตั้งต้องตรวจสอบจำนวนคนงานและเครื่องไม้เครื่องมือต่างๆที่จะใช้ให้สมบูรณ์ครบถ้วน
- ขณะขั้นตอนการยกและต่อท่อเหลี่ยม ควรระมัดระวังการกระแทกระหว่างท่อเหลี่ยมอาจเกิดการแตกร้าวชำรุดได้
- ทำการเข้าแบบเทคอนกรีตต่อความยาวของท่อเหลี่ยมให้ได้ตามแบบ (กรณีไม่ได้สั่งหล่อท่อนปลายจากโรงงาน) พร้อมฝังเหล็ก Dowel สำหรับเชื่อมต่อกับปีกชานปากท่อเหลี่ยม
- การ Grout รอยต่อของท่อด้านข้างและด้านใน ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ส่วนด้านบนหลังท่อเหลี่ยมทำการผูกตะแกรงเหล็กขนาด 9 มม. # 30 ซม. เทคอนกรีตหนา 10 ซม. ตลอดความกว้างยาวของท่อเหลี่ยม
- ตั้งแบบหล่อชานปากท่อเหลี่ยมและหล่อกำแพงกันดินตามลำดับ
- การหล่อคอนกรีตต้องใช้น้ำยาประสานคอนกรีตเพื่อต่อเชื่อมระหว่างคอนกรีตที่จะเทกับคอนกรีตเดิม รวมทั้งต้องบ่มคอนกรีตทุกส่วนโครงสร้างที่ทำการหล่อแล้วเสร็จ





ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อสำเร็จจากโรงงาน (Precast Box Culvert)

ท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อสำเร็จจากโรงงาน (Precast Box Culvert)

งานป้องกันสนิมของเหล็กเสริมโครงสร้างโดยวิธี Cathodic Protection

บทนำ

ปัจจุบันสะพานที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเล มีความเสียหายเกิดขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีตและเหล็กเสริมถูกกัดกร่อนเป็นสนิม มีผลโดยตรงต่อการรับน้ำหนักของสะพาน ส่งผลถึงความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน ได้มีการศึกษาวิเคราะห์ปัญหา และหาแนวทางการแก้ไขเพื่อยับยั้งการเกิดสนิม และได้นำวิธี Cathodic Protection มาใช้

รูปที่ 1 ความเสียหายของตอม่อสะพานติณสูลานนท์ (สะพานเดิม)

ข้อมูลเบื้องต้น

1. การวิเคราะห์ปัญหา

สะพานที่อยู่บริเวณน้ำเค็ม หรือทะเล โครงสร้างสะพานบางส่วนสัมผัสกับน้ำทะเล หรือละอองจากน้ำทะเลตลอดเวลา โดยทั่วไปในน้ำทะเลหรือน้ำกร่อย ประกอบด้วย คลอไรด์ และซัลเฟตที่มีปริมาณสูง ซึ่งสามารถแพร่กระจาย (Diffusion) เข้าไปในคอนกรีตและเกิดปฏิกิริยาเคมี นำไปสู่การเสื่อมสภาพของคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริม ซึ่งทำให้เกิดการขยายปริมาตรและแรงดันจนคอนกรีตแตกร้าว

สาเหตุความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีดังนี้

- ความเสียหายโดยสาเหตุทางกายภาพ (Physical Deterioration) เช่น รอยแตกร้าวจากการทรุดตัว จากความร้อน จากการหดตัว และจากการแข็งตัวของคอนกรีตระยะเริ่มแรก (Drying Shrinkage)
- ความเสียหายโดยสาเหตุทางเคมี (Chemical Deterioration) เช่น การกัดกร่อนโดยซัลเฟต (Sulphate Attack) การเกิดสนิมของเหล็กเสริมโดยคลอไรด์ (Steel Corrosion due to Chloride) ปฏิกิริยาระหว่างอัลคาไลน์กับมวลรวม (Alkali Aggregate Reaction) ปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น (Carbonation)

ได้มีการนำน้ำทะเลบริเวณที่ทำการก่อสร้างมาทำการทดสอบ พบว่ามีเกลือคลอไรด์ 30,700 p.p.m (part per million) เกลือซัลเฟต 3,300 p.p.m การแก้ปัญหาจึงเน้นทางเคมีเป็นหลัก โดยเฉพาะการป้องกันสนิมที่เกิดจากคลอไรด์

- ความเสียหายโดยสาเหตุทางชีวภาพ (Biological Deterioration) เช่น การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากตะไคร่น้ำ รา แบคทีเรีย

2. ทฤษฎีการเกิดสนิม

กระบวนการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

กระบวนการเกิดสนิมที่กัดกร่อนเหล็กเสริมในโครงสร้าง เป็นปฏิกิริยาไฟฟ้า-เคมี เนื่องจากการไหลของอิเลคตรอนจากขั้วบวก (Anode) ไปขั้วลบ (Cathode) ที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริม ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเกิดขึ้น ต้องมีปัจจัย 4 ประการ ดังต่อไปนี้

- **บริเวณขั้วบวก** (Anode) เป็นบริเวณที่กระแสอิเลคตรอนไหล เนื่องจากความต่างศักย์ ทำให้เหล็กที่บริเวณขั้วบวก คลายประจุ (Fe^{2+}) ทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำและออกซิเจน เป็นสนิมกัดกร่อนตามขบวนการเคมี Anodic Reaction

$$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$$

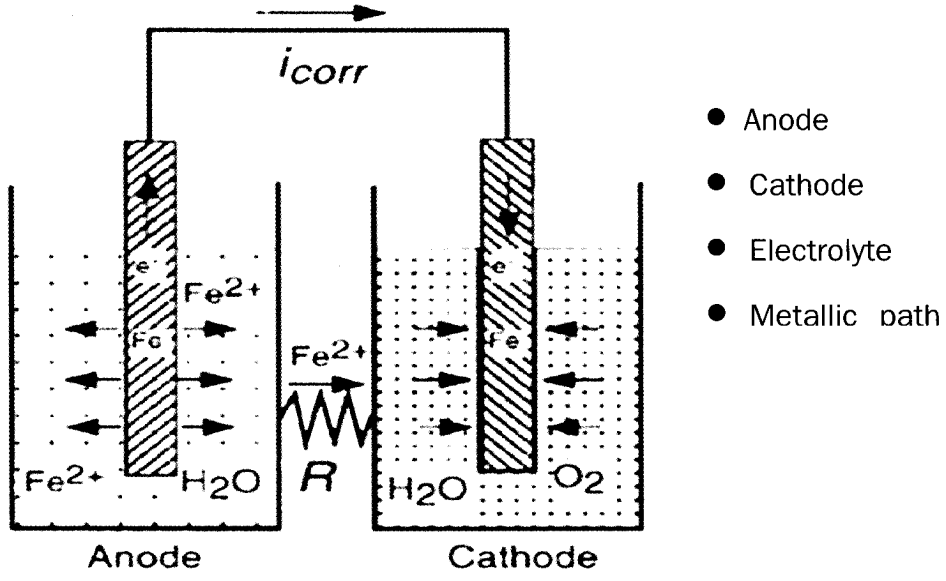
$$Fe^{2+} + 2H_2O \longrightarrow Fe(OH)_2 + 2H^{+} + 2e^{-}$$

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3 \rightarrow 2Fe_2O_3\ H_2O \text{ Rust} + H_2O$$

- **บริเวณขั้วลบ** (Cathode) เป็นบริเวณที่กระแสอิเลคตรอนไหลเข้าเกิดขบวนการทางเคมี Cathodic Reaction กับน้ำและออกซิเจนเป็นไฮดรอกไซด์ เป็นบริเวณที่ไม่เกิดการกัดกร่อนเป็นสนิม

$$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \longrightarrow 4\ OH^{-}$$

- **อิเลคโตรไลท์** (Electrolyte) เป็นสื่อไฟฟ้าที่อิออน สามารถเคลื่อนผ่านได้ เช่น ดิน น้ำ คอนกรีต
- **ทางเดินของกระแสไฟฟ้า** (Metallic Path) ที่เป็นจุดเชื่อมหรือรอยต่อขั้วบวก และขั้วลบซึ่งทำให้เกิดเป็นวงจรไฟฟ้าสมบูรณ์

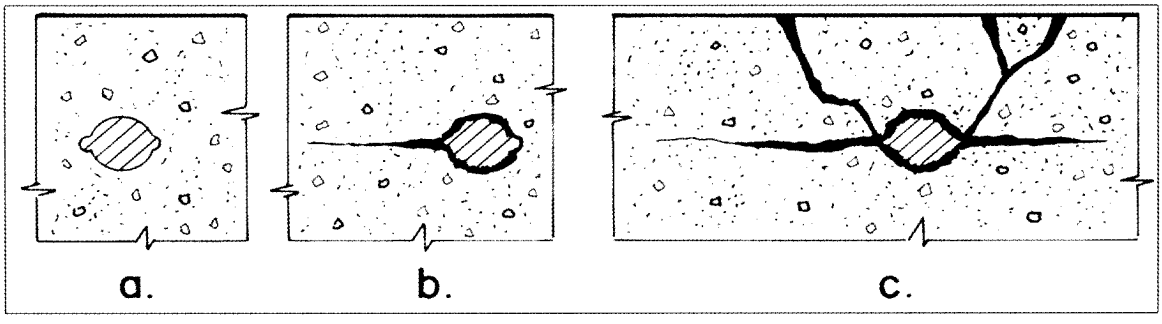


รูปที่ 2 กระบวนการเกิดสนิมที่ลักษณะคล้ายการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี

3. กระบวนการกัดกร่อนเป็นสนิมของโครงสร้างที่เกิดจากเกลือคลอไรด์

เป็นกระบวนการที่เกลือคลอไรด์ในน้ำทะเลซึมเข้าสู่โครงสร้างทำให้ Chloride Ions ไปทำลาย Passive Film ของเหล็กเสริมอย่างรวดเร็วและ Chloride Ions กระตุ้นให้เหล็กคลายประจุรวมเป็น เฟอรัสคลอไรด์ ($Fe\ Cl_2$) และทำปฏิกิริยากับน้ำ (Hydrolysis) ทำให้เกิดไฮโดรคลอริคแอซิด (HCl) ซึ่งมีสภาพเป็นกรดและเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เหล็กคลายประจุ และทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจนเกิดปฏิกิริยา Anodic Reaction เป็นสนิมเหล็ก การเกิด Hydrolysis ของ Metallic Chloride ดังกล่าวทำให้เกิดเฟอรัสไฮดรอกไซด์ $Fe(OH)_2$ ซึ่งทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจนเป็นสนิมเหล็ก เกิดความเสียหายบริเวณจุดที่คลอไรด์ซึมเข้าโครงสร้างและเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

เมื่อเหล็กเกิดเป็นสนิมจะขยายตัวออกและดันคอนกรีตรอบข้างแตกร้าว



Volume of Corrosion Products = 2 to 4 times that of the original steel

รูปที่ 3 ขั้นตอนการเกิดความเสียหายในโครงสร้างเนื่องจากการกัดกร่อนเป็นสนิม

$$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$$

$$Fe^{2+} + 2Cl^{-} \longrightarrow FeCl_2$$

$$FeCl_2 + H_2O \longrightarrow 2HCl + Fe(OH)_2$$

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3 + 2Fe_2O_3 \text{ Rust} \quad H_2O + H_2O$$

ปฏิกิริยา Hydration ของซีเมนต์ในคอนกรีตที่ทำให้คอนกรีตมีสภาวะเป็นด่างสูง(PH=12.5-13.5) ซึ่งในสภาวะที่คอนกรีตมีความเป็นด่างสูงโดย PH >11.50 จะเกิด Passive (Oxide) Film รอบบริเวณผิวของเหล็กเสริมป้องกันเหล็กเสริมสัมผัสกับน้ำและอากาศโดยตรง ทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยา Oxidation ซึ่งปฏิกิริยา Oxidation ทำให้เหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเกิดสนิม

4. ปัญหาเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเป็นสนิม เกิดจาก

- คอนกรีตมีสภาวะความเป็นด่างลดลง น้ำซึมผ่านได้ง่าย
- เหล็กสูญเสียอิเลคตรอน

5. การแก้ไขปัญหาเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเป็นสนิม

สามารถทำได้หลายวิธี พอสรุปได้ดังนี้

5.1 ออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตให้มีความทึบน้ำสูง

คอนกรีตที่มีความทึบน้ำสูง ทำให้ความชื้นในเนื้อคอนกรีตต่ำ ซึ่งเป็นผลให้อัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมต่ำด้วย จากมาตรฐาน ASTM 1202-97 จำนวนคูลอมบ์วัดได้จากการป้อนกระแสไฟฟ้าที่มีแรงดัน 60 VDC ผ่านตัวอย่างแท่งคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 95 มม. ยาว 50 มม. เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สามารถใช้จำแนกชนิดคอนกรีตได้ โดยจำแนกตามระดับความต้านทานของคลอไรด์อิออน (Chloride Ion) ที่แทรกซึมผ่านแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ดังแสดงในตาราง

Coulombs	Chloride Ion Permeability	Typical of
> 4000	high	high W/C ratio
4000 - 2000	moderate	0.40 -0.5 W/C ratio
2000 -1000	low	W/C ratio < 0.4
1000 - 100	very low	latex modified concrete
< 100	negligible	polymer concrete

ในงานก่อสร้างสะพานติณสูลานนท์ได้ออกแบบอัตราการการซึมผ่านของคลอไรด์น้อยกว่า 1000 coulombs โดยส่วนผสมของคอนกรีตในแต่ละโครงสร้างเป็นดังนี้

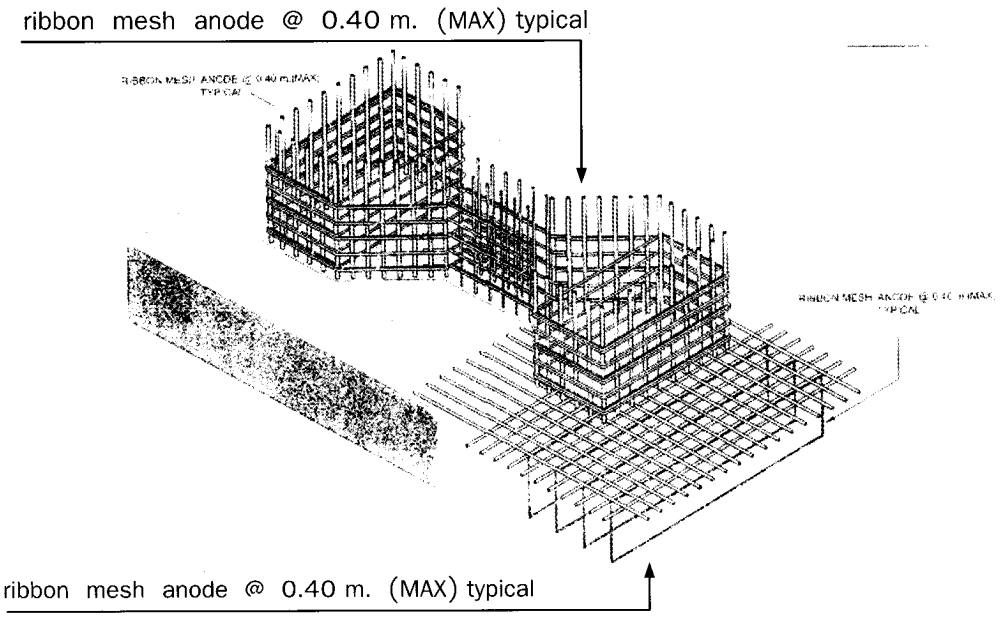
Concrete Class	Cement type	Max W/C Ratio	Min. Cement Content Kg/Cu.m.	Silica Fume Kg/Cu. m.	Fly Ash Kg/Cu.m.	Max. Size Coarse Agg., mm.	Compressive Cylinder Strength Kg/Sq.cm.
250 B	1	0.4	375	15	55	20	250
250 C	1	0.4	350	15	55	38	250

Class 250 B ใช้งาน bearing unit wall and slab, pile core, pier shaft

Class 250 C ใช้งาน pile cap of pier, base and pedestal of abutment, abutment pier and footing abutment

5.2 วิธี Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)

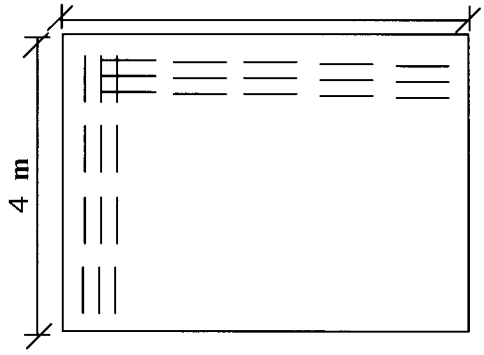
Impressed Current Cathodic Protection เป็นระบบป้องกันและหยุดยั้งการเกิดสนิมโดยการจ่ายอิเลคตรอนจากแหล่งกำเนิดภายนอกเข้าสู่เหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยตรง เพื่อไม่ให้เหล็กเสริมสูญเสียอิเลคตรอนอันเป็นสาเหตุให้เกิดการกัดกร่อนเนื่องจากการเป็นสนิม ระบบ ICCP เป็นวิธีการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านวัสดุขั้วบวกเสถียร (Inert Anode) ซึ่งมีความเสถียรสูง และนำไฟฟ้าได้ดี เช่น Titanium กระแสอิเลคตรอนจะไหลเข้าสู่เหล็กเสริมโดยผ่านคอนกรีตที่ทำหน้าที่เป็น Electrolyte



Isometric View of Titanium Ribbon Mesh System in New Construction Interior Pier

ตัวอย่างการออกแบบ ICCP เพื่อติดตั้งที่ตอม่อของสะพานติณสูลานนท์ (คู่ขนาน)

1. Pile Cap



1.1 คำนวณปริมาณพื้นที่ผิวเหล็กเสริมบนฐานตอม่อ (Top Rebar Mat)

เหล็กเสริม ∅ 16 mm. @ 0.20 ทั้งตามยาวและตามขวาง

- พื้นที่ผิวต่อความยาว 1.0 ม. A_{16} = p x 16 mm/1000 x 1m = 0.05 m^2/m
- พื้นที่ผิวต่อความยาว จำนวน 20 เส้น = 20 x 0.05 x (27+1) = 8.0 m^2
- พื้นที่ผิวต่อความขวาง จำนวน 350 เส้น = 35 x 0.05 x (4+1) = 8.75 m^2

พื้นที่ผิวเหล็กเสริมบนฐานตอม่อ = 8+8.75 = 16.75 m^2

1.2 คำนวณปริมาณพื้นที่ผิวเหล็กเสริมล่างฐานตอม่อ (Bottom Rebar Mat)

เหล็กเสริม ∅ 25 mm. @ 0.15 ทั้งตามยาวและตามขวาง

- พื้นที่ผิวต่อความยาว 1.0 ม. A_{25} = p x 25 mm/1000 x 1 m =0.785 m^2/m
- พื้นที่ผิวต่อความยาว จำนวน 27 เส้น = 27x0.0785 x (7+1) =16.96 m^2
- พื้นที่ผิวต่อความยาว จำนวน 47 เส้น = 27x0.0785 x (4+1) = 18.45 m^2

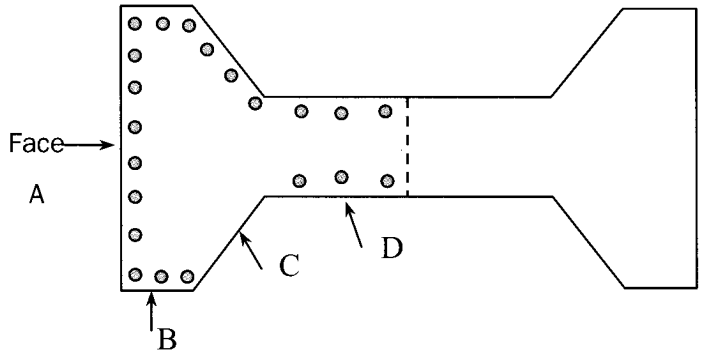
พื้นที่ผิวเหล็กเสริมล่างฐานตอม่อ = 16.96+18.45 = 35.41 m^2

1.3 คำนวณปริมาณพื้นที่ผิวเหล็กเสริมด้านข้างฐานตอม่อ (Side Rebar Mat)

เหล็กเสริม ∅16 mm. @ ยาว 22.00 m. ทั้งตามยาวและตามขวาง

พื้นที่ผิวเหล็กเสริมล่างฐานตอม่อ = 0.05 x 22 x 3 = 3.30 m^2

2. Pier



A_{12} = p x 16 mm/1000 x 1 m = 0.038 m^2/m

A_{20} = p x 20 mm/1000 x 1 m = 0.063 m^2/m

A_{25} = p x 25 mm/1000 x 1 m = 0.079 m^2/m

พื้นที่ผิวเหล็กเสริมต่อความสูงของ Pier 1.0 m.

2.1 Face A

เหล็กในแนวตั้ง A_{25} x 8 = 0.632 m^2

เหล็กในแนวนอน [(A_{12} x 1 m) x 2 rebar]+[(A_{12} x 2m) x 2 rebar] x 2

∴ พื้นที่ผิวเหล็กเสริมใน Face A = 1.010 m^2

2.2 Face B

เหล็กในแนวตั้ง A_{25} x 4 = 0.316 m^2

เหล็กในแนวนอน (A_{12} x 1 m) x 2 = 0.076 m^2

∴ พื้นที่ผิวเหล็กเสริมใน Face B = 0.390 m^2

2.3 Face C

เหล็กในแนวตั้ง A_{25} x 4 = 0.316 m^2

เหล็กในแนวนอน (A_{12} x 1 m) x 2 = 0.076 m^2

∴ พื้นที่ผิวเหล็กเสริมใน Face C = 0.390 m^2

2.4 Face D

เหล็กในแนวตั้ง A_{25} x 3 = 0.237 m^2

เหล็กในแนวนอน (A_{12} x 1 m) x 2 = 0.076 m^2

∴ พื้นที่ผิวเหล็กเสริมใน Face D = 0.313 m^2

Cathodic Protection Current Requirements

- Design Cathodic Protection Current Density = 10 mA/m^2
- Anode Current Rating 3.5 mA/m

Pile Cap

- พื้นที่ผิวเหล็กเสริมทั้งหมด = 55.5 m^2
- กระแสที่ต้องใช้ใน Pile Cap = 55.45 m^2 x 10 mA/m^2
  = 55.45 mA

$\therefore$ ใช้ Ribbon Mesh Anode = $\frac{76.4}{3.5}$ = 21.83 m

6. การทดสอบ Anode – Steel Isolation Test

เพื่อให้ระบบสามารถป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้ตามที่ออกแบบไว้ ต้องมีการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการสัมผัสกันระหว่าง Anode และเหล็กเสริมอันจะทำให้เกิดการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้า สามารถตรวจสอบด้วยการทำ Anode - Steel Isolation Test ซึ่งต้องทำทั้งระหว่างและภายหลังการติดตั้ง Anode โดยการใช้ Digital Multimeter ที่สามารถวัดค่าความต่างศักย์ได้ละเอียดถึง 1 Mv เพื่อวัดความต่างศักย์ระหว่าง Anode กับเหล็กเสริมในโครงสร้าง โดยถ้าค่าที่อ่านได้มีค่า 10 Mv หรือน้อยกว่า แสดงว่า Anode สัมผัสกับเหล็กเสริมหรืออยู่ใกล้กับเหล็กเสริมมากเกินไป ซึ่งต้องตรวจสอบหาบริเวณที่มีการสัมผัสให้พบแล้วทำการแก้ไขเพื่อให้ Anode มีระยะห่างจากเหล็กเสริมพอสมควร

7. การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อให้กระแสในระบบ ICCP

7.1 การติดตั้งเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power Supply)

กระแสไฟฟ้าสลับ (AC Current) ติดตั้งเพื่อใช้เป็น Input สำหรับ Transformer Rectifier เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V แบบเฟสเดียว (Single Phase) มีความถี่ 50 Hz หรือตามค่าที่ได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรผู้เชี่ยวชาญในระบบนี้ โดยทำการเดินท่อเพื่อร้อยสายไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ Transformer Rectifier การเดินท่อและร้อยสายไฟฟ้าให้คำนึงถึงความเหมาะสม ความสะดวก ในการบำรุงรักษา รวมถึงความปลอดภัยด้วย ท่ออุปกรณ์ประกอบต่างๆและสายไฟฟ้าที่ใช้ต้องเป็นอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานและเป็นไปตามข้อกำหนด

7.2 Transformer Rectifier

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) เพื่อจ่ายให้ Anode

- Ac Breaker เป็นอุปกรณ์สำหรับเปิด-ปิด หรือควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้าตู้ Rectifier
- หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) และ Diode เป็นอุปกรณ์ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้ Anode ตัวหม้อแปลงมี Tab Bar ใช้เพื่อปรับค่าไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับวงจร

- Circuit Breaker และ Fuse เป็นอุปกรณ์สำหรับเปิด-ปิด และควบคุมไฟฟ้ากระแสตรงที่แปลงมาจากหม้อแปลงจ่ายให้วงจร ICCP
- Voltmeter และ Ampmeter เป็นอุปกรณ์ใช้วัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าในวงจร โดยมี Switch ที่สามารถปรับเลือกวงจรที่จะวัด
- แผงไฟสัญญาณบ่งบอกปริมาณกระแสไฟฟ้าในวงจรต่างๆ เป็นสัญญาณเตือนปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจร ถ้าวงจรเป็นปกติแสดงด้วยแสงสว่างของหลอดไฟสีเขียว ถ้าวงจรมีกระแสไฟฟ้าสูงกว่าปกติแสดงด้วยแสงสว่างของหลอดไฟสีแดง ถ้าวงจรมีกระแสไฟฟ้าต่ำกว่าปกติแสดงด้วยแสงสว่างของหลอดไฟสีเหลือง หากแสงสว่างหลอดไฟฟ้าแสดงเป็นสีเหลืองหรือสีแดงต้องปรับเพิ่มหรือลดกระแสไฟฟ้าโดยการปรับค่าของ Tab Bar
- แผงขั้วบวก – ลบ สำหรับวัดความต่างศักย์ในวงจรกับ Reference Cell ที่จุดต่างๆ โดยใช้ Digital Multimeter ต่อวัด เพื่อตรวจสอบประจุลบที่เหล็กเสริมได้รับในขั้นตอน Depolarization Test
- หลอดไฟสัญญาณเตือนการทำงานของวงจรต่างๆ ที่แสดงบนหน้าตู้ Rectifier กรณีที่หลอดไฟสัญญาณเป็นสีเขียว แสดงว่าระบบวงจรไฟฟ้าของ ICCP ทำงานปกติ แต่ถ้าเป็นสีแดงหรือสีเหลืองแสดงว่าวงจรนั้นมีกระแสไฟฟ้าสูงหรือต่ำ ต้องแก้ไข หากหลอดไฟฟ้าสีเขียว-สีแดงของวงจรใดดับแสดงว่าไม่มีกระแสไฟฟ้าในวงจรนั้น ถ้าหลอดไฟสัญญาณสีเขียว-สีแดงดับหมดทุกดวงแสดงว่าไม่มีไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้เป็น Input จ่ายให้กับวงจร

การติดตั้ง Rectifier มีขั้นตอน ดังนี้

- ตรวจสอบส่วนประกอบตัวเชื่อมต่อ (Connection) ว่ามีความแน่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์หรือองค์ประกอบที่เกี่ยวกับการจ่ายกระแสไฟฟ้า
- เลือกสถานที่ติดตั้งตู้ Rectifier ควรเป็นสถานที่โล่ง อยู่ในร่ม มีการระบายอากาศที่ดีและสะดวกกับการติดตั้งเชื่อมโยงกับไฟฟ้ากระแสสลับ
- ติดตั้งอยู่บนฐานที่แข็งแรงและมีการยึดที่มั่นคงและแข็งแรง
- การติดตั้งและเชื่อมโยงสายไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ควรแยกเป็นวงจรเฉพาะส่วนเพื่อที่จะให้มีกระแสไฟฟ้าคงที่
- Rectifier ที่ใช้ต้องมีขนาดที่เหมาะสม สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ ICCP ได้พอเพียง โดยต้องทำการตรวจสอบก่อนมีการจ่ายกระแสไฟฟ้า
- กำหนดและตรวจสอบการต่อขั้วกระแสไฟฟ้าให้ถูกต้อง โดยขั้วลบต่อกับสายไฟฟ้าที่ต่อเชื่อมกับเหล็กเสริมของโครงสร้าง และขั้วบวกต่อกับสายไฟฟ้าที่ต่อเชื่อมกับ Anode ของระบบ

7.3 Resistor Box

กรณีที่ Rectifier ต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าที่มี Voltage คงที่ การปรับกระแสไฟฟ้าตามความต้องการของ Anode ในแต่ละโครงสร้างต้องใช้ Resistor ที่สามารถปรับค่าได้ ซึ่งเป็นกล่องที่ติดตั้งตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าได้เพื่อปรับกระแสไฟฟ้าเข้า Anode ให้เหมาะสม โดยตำแหน่งที่ติดตั้งต้องคำนึงถึงความสะดวกในการทำงาน

8. การเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าระบบ ICCP (Energization)

ก่อนทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ ICCP ต้องทำการตรวจสอบความต่อเนื่องระหว่างจุดเชื่อมต่อ (Rebar Ground Connection) ของแต่ละวงจรย่อยของระบบ ICCP โดยตรวจสอบ ณ บริเวณ Junction Box และตรวจสอบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ผิวเหล็กเสริมโดยใช้ Reference Electrode ที่ติดตั้งไว้เพื่อการตรวจสอบ

การเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ ICCP ต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าน้อยที่สุดก่อน แล้วจึงค่อย ๆ เพิ่มการจ่ายกระแสไฟฟ้ามากขึ้นเป็นระยะ ๆ ดังนี้

- ก่อนเปิด Breaker ของวงจร ต้องปรับ Tab Bar ที่หม้อแปลงไปยังจุดที่มีค่าต่ำที่สุด (สเกลปรับหยาบ ที่ A และสเกลปรับละเอียดที่ 1) แล้วจึงเปิด Breaker
- ตั้งค่าของ Rectifier ประมาณครึ่งหนึ่งของค่า Output ที่ต้องการโดยเคลื่อน Tab Bar ปรับค่าตามความต้องการทีละตำแหน่งจากเครื่องหมาย A ไป B ตรวจสอบกระแสไฟฟ้าจนได้ค่าที่เหมาะสม เพิ่มกระแสแต่ละครั้งจนกว่าจะได้กระแสไฟฟ้าประมาณครึ่งหนึ่งของกระแสที่ต้องการ
- เพิ่มการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าระบบ โดยปรับ Tab Bar ของสเกลหยาบและสเกลละเอียดทีละขั้นเป็นระยะๆ จนกว่าจะได้กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าที่อ่านได้จาก Reference Cell
- ให้ Rectifier จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงอย่างต่อเนื่องประมาณ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้หยุดการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อตรวจสอบความบกพร่องของการต่อเชื่อมที่จุดต่างๆ โดยการใช้มือแตะรอยต่อเชื่อมนั้น ๆ ถ้ารู้สึกอุ่นๆ เล็กน้อยแสดงว่าอุปกรณ์ทำงานปกติ หากรู้สึกร้อนมากผิดสังเกตแสดงว่ารอยต่อเชื่อมนั้นมีความบกพร่องต้องดำเนินการแก้ไข เมื่อตรวจสอบและแก้ไขเรียบร้อยแล้วจึงจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ ICCP ต่อไป
- เมื่อกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แต่ละวงจรมีค่าค่อนข้างคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงมาก ให้จ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการทดสอบ Depolarization ซึ่งเป็นการทดสอบความเพียงพอของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ระบบ ICCP เพียงพอสำหรับป้องกันการเกิดสนิมในเหล็กเสริมโครงสร้าง

9. การทดสอบ Depolarization

เป็นการทดสอบเพื่อให้ทราบว่า ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบ ICCP เพื่อให้ anode จ่ายประจุลบให้กับเหล็กเสริมเพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้เหล็กเสริมในโครงสร้างเกิดสนิม โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้วงจรในระบบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วปิด Circuit Breaker ตัดกระแสไฟฟ้า

ของวงจร ทำการวัดความต่างศักย์ระหว่างของเหล็กเสริมในโครงสร้างกับ Reference Cell ณ ช่วงเวลาที่ทำการตัดกระแสวงจร บันทึกค่าความต่างศักย์ดังกล่าวที่เปลี่ยนแปลงลดลงไปในแต่ละช่วงเวลา ถ้าภายหลัง 4 ชั่วโมง ค่าความต่างศักย์เปลี่ยนแปลงลดลงไม่น้อยกว่า 100 mV แสดงว่าเหล็กเสริมในโครงสร้างได้รับประจุเพียงพอในการป้องกันการเกิดสนิม หากค่าความต่างศักย์เปลี่ยนแปลงลงน้อยกว่า 100 mV แสดงว่าเหล็กเสริมในโครงสร้างได้รับประจุไม่เพียงพอที่จะป้องกันการเกิดสนิม ต้องปรับเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ให้กับวงจร ICCP โดยปรับที่หม้อแปลงไฟฟ้า หากการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์มากกว่า 100 mV มากๆ แสดงว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Anode มีค่ามากเกินไป ซึ่งมีผลให้อายุใช้งานของ Anode ลดลง ควรปรับลดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจร ICCP เพื่อยืดอายุการใช้งานของ Anode

การบำรุงรักษาระบบ ICCP

1. การบำรุงรักษา Rectifier

Rectifier เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับวงจร ICCP จึงควรมีการดูแลรักษาและมีการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง โดยควรตรวจสอบ ดังนี้

- ความร้อน (อุณหภูมิ) ของอุปกรณ์ในระบบ ICCP
- ปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงเกินความต้องการ (Voltage Surge) และตรวจสอบความเสียหายของระบบหากเกิดฟ้าผ่าในบริเวณใกล้เคียง
- กระแสไฟฟ้าที่จ่ายเกินไปกว่าข้อกำหนด

โดยทั่วไปต้องตรวจสอบความร้อนและการระบายอากาศในตู้ Rectifier นอกจากนั้นควรมีคัทเอาท์ หรือฟิวส์ ก่อนมีการต่อสายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าตู้ Rectifier

2. การตรวจสอบ ICCP ดำเนินการตามระยะเวลาที่กำหนด ดังนี้

2.1 ทุกระยะเวลา 1 เดือน

ตรวจสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ โดยสังเกตจากสีของหลอดไฟฟ้าที่บริเวณไฟสัญญาณหน้าตู้ Rectifier ถ้าหลอดไฟฟ้าทั้งหมดให้แสงสว่างเป็นสีเขียว แสดงว่าทุกวงจรทำงานปกติ แต่ถ้าวงจรใดมีหลอดไฟฟ้าสว่างเป็นสีแดง แสดงว่าการทำงานของวงจรนั้นมีปัญหา ให้ทำการตรวจสอบโดยการเปิดฝาตู้เพื่อดูแสงสว่างสีหลอดไฟฟ้าในตู้ว่ามีหลอดไฟสัญญาณสีใดสว่าง ถ้าหลอดไฟสัญญาณดับหมดแสดงว่าไม่มีกระแสไฟฟ้าในระบบวงจรนั้น ถ้าหลอดไฟฟ้ามีแสงสว่างเป็นสีแดงแสดงว่า ปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงกว่าที่กำหนด หากหลอดไฟฟ้ามีแสงสว่างเป็นสีเหลืองแสดงว่า ปริมาณกระแสไฟฟ้าต่ำกว่าที่กำหนด จำเป็นต้องลดหรือเพิ่มกระแสไฟฟ้า โดยการปรับที่หม้อแปลงไฟฟ้า การปรับกระแสไฟฟ้าควรให้ผู้เชี่ยวชาญที่รับผิดชอบเป็นผู้ดำเนินการ

2.2 ทุกระยะเวลา 3 เดือน

- ตรวจสอบการสว่างของสีหลอดไฟฟ้า ไฟที่แสดงการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบตามข้อ 2.1
- ตรวจสอบปริมาณกระแสไฟฟ้า และค่าความต่างศักย์ในแต่ละวงจร บันทึกค่าลงในแบบฟอร์มรายละเอียด กรณีที่ค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าสูงเกินกว่าที่กำหนดให้แจ้งผู้เชี่ยวชาญที่รับผิดชอบมาดำเนินการแก้ไข
- ในกรณีเกิดกระแสไฟฟ้าดับเป็นเวลานาน ต้องจัดเจ้าหน้าที่ไปตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับ Rectifier

ตัวอย่าง กำหนดค่าของความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าสำหรับสะพานติณสูลานนท์ (สะพานด้านใต้)

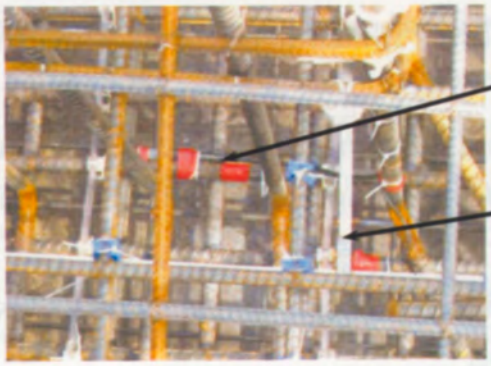
วงจรที่ 1	ค่าความต่างศักย์ของระบบในวงจร	60	V
	ค่ากระแสของระบบในวงจร	40	A
วงจรที่ 2	ค่าความต่างศักย์ของระบบในวงจร	60	V
	ค่ากระแสของระบบในวงจร	40	A
วงจรที่ 3	ค่าความต่างศักย์ของระบบในวงจร	20	V
	ค่ากระแสของระบบในวงจร	12	A

เครื่องมืออุปกรณ์ สำหรับระบบ ICCP

- Elgard 100 Anode Ribbon Mesh
- Titanium Current Distributor (CD)
- Reference Cell
- Rectifier, Resistor Box, Junction Box
- เครื่องมือเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า

การติดตั้งระบบ Impressed Current Cathodic Protection

1. ติดตั้งระบบ Ground ที่ Pile Cap และ Pier ตรวจสอบความต่อเนื่องของเหล็กเสริมเพื่อให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าครบวงจร
2. ติดตั้ง Reference Electrodes ตามที่แบบกำหนด มีการยึดให้มั่นคงด้วยสายพลาสติก ติดตั้งสาย Ground สำหรับ Reference Electrodes บริเวณใกล้เคียง และต่อเชื่อมสาย Ground กับเหล็กเสริม
3. เดินสายไฟฟ้าสำหรับ Reference Electrodes และ Reference Electrodes Ground มีการทำเครื่องหมายแสดงความแตกต่างไว้อย่างชัดเจน



4. ติดตั้ง Titanium Ribbon Anodes โดยใช้ Rebar Clips ที่ทำจาก Plastic ยึดกับเหล็กเสริม แล้วผูกสาย Plastic ระหว่าง Anode กับ Rebar Clips

5. เดินสายวงจรหลัก เชื่อมต่อระหว่าง Anode กับ Current Distributor Bar

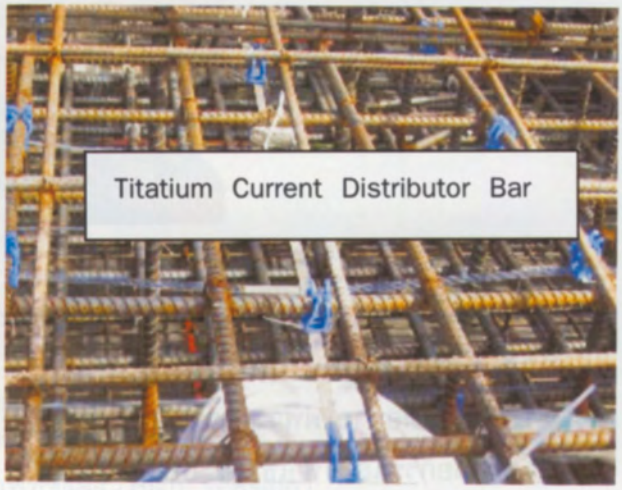
6. เชื่อม Current Distributor Bar กับ Ribbon Anode เข้าด้วยกัน
7. ตรวจสอบ Ribbon Anode ให้อยู่ในสภาพที่ขึงตึง (High Tension)
8. ตรวจสอบไม่ให้มีการสัมผัสกันระหว่าง Current Distributor Bar กับ Ribbon Anode
9. ก่อนติดตั้งแบบด้านข้าง เพื่อเทคอนกรีต ควรตรวจสอบความเรียบร้อยอีกครั้ง โดยใช้ฟองน้ำชุบน้ำแตะระหว่างเหล็ก กับ Ribbon Anode สำหรับให้ระบบทำการ Electrolyte ชั่วคราว ค่าที่ Volt Meter อ่านได้ควรประมาณ 50 mV และ DC Resistance ควรอ่านค่าได้มากกว่า 100 ohms

10. หลังจากทำการเท คอนกรีตเรียบร้อยแล้ว ให้ตรวจสอบระบบอีกครั้งหนึ่ง เพื่อป้องกันการลัดวงจร (Short Circuit) ตามข้อ 9.
11. การตรวจสอบระบบซึ่งอาจเกิดการลัดวงจรเนื่องจากการเทคอนกรีต โดยใช้ Voltmeter
    - Voltage ระหว่าง Anode กับ Rebar ค่าที่อ่านควรลดลงอย่างต่อเนื่อง
    - ถ้าใช้หัว Vibrator ในการทำให้คอนกรีตแน่นตัว ระหว่างการเทคอนกรีต อาจมีการลัดวงจรเกิดขึ้น แต่หลังจากดึงหัว Vibrator ออก จะไม่ปรากฏว่ามีการลัดวงจร

12. หลังจากเสร็จสิ้นการเทคอนกรีตเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทำการตรวจสอบการลัดวงจรอีกครั้ง

13. ติดตั้ง Resistor Box, Junction Box และท่อเดินสายไฟฟ้า (Conduit)
14. ติดตั้ง Rectifier
15. เชื่อมต่อสายไฟฟ้าระหว่าง Resistor Box กับ Rectifier
16. จ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ Rectifier

เชื่อมต่อ Ground Connection ด้วยวิธี Termite Melting



วาง Ribbon Mesh Andode และ Titatium Current Distributor Bar

ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

ปัญหา	สาเหตุ	การป้องกันและการแก้ไข
1. เกิดการลัดวงจร	- Rebar Clips เคลื่อนตัว Ribbon Anode สัมผัสกับเหล็กเสริม เนื่องจากการใช้ Vibrator ขณะเทคอนกรีต - สาย Ribbon Anode ขาด อาจเกิดจากหัว Vibrator	- ระมัดระวังการใช้ Vibrator - ใช้เข็มขัดรัดที่ทำจาก Plastic ยึดระหว่าง Anode กับ Rebar Clips - สาย Ribbon Anode ต้องอยู่ในสภาพที่ขึงตึง (High Tension)
2. การติดตั้งสาย Ground	- การเชื่อมสาย Ground กับเหล็กเสริมต้องใช้เทคนิคพิเศษ เพื่อให้ยึดติดแน่น(Termite Melting)	- ใช้ผู้ที่มีทักษะสูงในการเชื่อม - ตรวจสอบรอยต่อเชื่อม แล้วพันรอบด้วยเทปพันสายไฟให้แน่น

บทสรุป

ระบบ ICCP เป็นระบบป้องกันการเกิดสนิมที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถปรับกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณที่เหมาะสมเพื่อจ่ายประจุอิเลคตรอนที่เหมาะสม สามารถตรวจสอบการทำงานของระบบได้ง่าย ทำให้เหมาะสำหรับโครงสร้างขนาดใหญ่ ที่มีความต่อเนื่องหรือโครงสร้างที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเกิดสนิมสูง (Severe Condition)

REPORT ON CATHODIC PROTECTION (TINSULANON BRIDGE, SONGKLA)

Short Bridge March 2004

No	Label of Pier and Pile Cap	Date of Installation	Pile Cap		Date of Installation	Pier	
1	PA-6	06-03-47	215	mV	11-03-47	114	mV
2	PA-8	13-03-47	215	mV	16-03-47	114	mV
3	PA-9	21-03-47	199	mV	24-03-47	236	mV
4	PA-10	27-03-47	185	mV	01-04-47	285	mV
5	PA-11	31-03-47	180	mV	03-04-47	230	mV
6	PB-2	02-04-47	140	mV	03-04-47	240	mV
	(ABUTMENT)						

NOTE : Reading above 0 to 20 mV indicated no short circuit between titanium anode and steel

คณะผู้จัดทำแถลง

การจัดทำคู่มือวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยมเล่มนี้ คณะผู้จัดทำทุกคนในฐานะผู้เขียนเรื่องแต่ละเรื่องได้ใช้ประสบการณ์ความรู้จากการปฏิบัติงานจริงในสนาม และการรวบรวมข้อมูล รายละเอียดเอกสาร ข้อกำหนดต่างๆที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งภาพประกอบลงพิมพ์ในคู่มือฯเพื่อทำให้คู่มือฯเล่มนี้มีความสมบูรณ์ถูกต้องมากที่สุด ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้ง่าย และนำไปใช้ประโยชน์ในการทำงานได้อย่างดี การจัดทำคู่มือนี้คณะผู้จัดทำมุ่งหวังเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อแวดวงการก่อสร้าง ไม่มีเจตนาละเมิดสิทธิ์ของผู้หนึ่งผู้ใด และหากมีข้อผิดพลาดบกพร่องใดๆที่ผู้อ่านตรวจพบ คณะผู้จัดทำยินดีน้อมรับนำไปปรับปรุงแก้ไขในโอกาสต่อไป และขอขอบพระคุณทุกๆท่านที่ได้เห็นประโยชน์ และคุณค่าของคู่มือวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยมเล่มนี้

การจัดทำคู่มือฯเล่มนี้ต้องอาศัยความเสียสละ ความร่วมมือร่วมใจของหลายๆฝ่าย และจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายสูงมากในการจัดพิมพ์เป็นรูปเล่มที่สวยงาม สะดวกต่อการใช้สอย การจำหน่ายคู่มือฯแก่บุคคลทั่วไปจึงไม่ได้ทำเพื่อการค้า แต่มีวัตถุประสงค์เพื่อการรวบรวมไว้เป็นทุนทรัพย์สำหรับการจัดพิมพ์คู่มือฯในครั้งต่อๆไป คณะผู้จัดทำขอสงวนสิทธิ์หากมีการนำคู่มือเล่มนี้ไปคัดลอก หรือทำซ้ำเพื่อวัตถุประสงค์ทางการค้า

คณะผู้จัดทำ

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2549
จำนวน 1,000 เล่ม

คำสั่งกรมทางหลวง
ที่ 121 /2547
เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการจัดทำคู่มือวิธีการปฏิบัติงานของนายช่างโครงการก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม

เพื่อประโยชน์แก่ทางราชการ และเพื่อให้การปฏิบัติงานของนายช่างโครงการก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม คสล. เป็นไปตามแนวทางและหลักเกณฑ์เดียวกันอยู่บนพื้นฐานตามหลักวิชาการและสอดคล้องกับเทคโนโลยีในปัจจุบัน จึงแต่งตั้งคณะกรรมการจัดทำคู่มือวิธีการปฏิบัติงานของนายช่างโครงการก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม ดังนี้.-

1. <u>องค์ประกอบ</u>

1.1 นายบุญส่ง	ศุภมัสดิ์ศุกุล	วิศวกรวิชาชีพ 9 วช	ประธานกรรมการ
1.2 นายวิโรจน์	ลัฐิกาวิบูลย์	รก. วิศวกรวิชาชีพ 9 วช	กรรมการ
1.3 นายใจอาชว์	เจริญศรี	วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ
1.4 นายวิชัย	ก๋งอุบล	วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ
1.5 นายบัญชา	สุทัยบำรุง	วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ
1.6 นายกมล	หมั่นทำ	วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ
1.7 นายชวเลิศ	เลิศชวนะกุล	รก.วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการ
1.8 นายธงไชย	วีระสมัย	รก.วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการและเลขานุการ
1.9 นายอิทธิวัตร์	กฤษณะวณิช	รก.วิศวกรโยธา 8 วช	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

2. <u>อำนาจหน้าที่</u>

2.1 พิจารณาแนวทางการปฏิบัติงานของนายช่างโครงการตามหลักเกณฑ์และวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม เพื่อใช้ประกอบคู่มือควบคุมการก่อสร้างงานสะพานและท่อเหลี่ยม เพื่อความเหมาะสมเป็นแนวทางเดียวกัน สอดคล้องกับระเบียบของราชการ

2.2 ประธานกรรมการมีอำนาจแต่งตั้งคณะกรรมการหรือคณะทำงานอื่น เพื่อช่วยดำเนินงานดังกล่าวได้ตามความจำเป็นและเหมาะสม

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2547

(นายเทิดศักดิ์ เศรษฐมานพ)
อธิบดีกรมทางหลวง

คำสั่งคณะกรรมการจัดทำคู่มือวิธีการปฏิบัติงานของนายช่างโครงการ
ก่อสร้างงานสะพานและท่อเหลี่ยม
ที่ สพ.1-1/30/2547
เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำคู่มือวิธีการปฏิบัติงานของนายช่างโครงการก่อสร้างงานสะพานและท่อเหลี่ยม

.....

ตามคำสั่งกรมทางหลวงที่ 121/2547 ลงวันที่ 18 มิถุนายน 2547 ได้แต่งตั้งคณะกรรมการจัดทำคู่มือวิธีการปฏิบัติงานของนายช่างโครงการก่อสร้างงานสะพานและท่อเหลี่ยม นั้น

เพื่อให้การจัดทำคู่มือฯ เป็นไปด้วยความรวดเร็ว ถูกต้องและสมบูรณ์ อาศัยอำนาจตามคำสั่งกรมทางหลวงที่ 121/2547 ลงวันที่ 18 มิถุนายน 2547 จึงแต่งตั้งคณะทำงานจัดทำคู่มือวิธีการปฏิบัติงานของนายช่างโครงการก่อสร้างงานสะพานและท่อเหลี่ยม จำนวน 13 ราย ดังนี้.-

1. นายประชัน	สุขประสงค์	วิศวกรโยธา 8 วช	หัวหน้าคณะทำงาน
2. นายกมล	หมั่นทำ	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
3. นายวิชัย	กังอุบล	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
4. นายบัญชา	สุทัยบำรุง	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
5. นายชัยดิษฐ์	ฤทธิ์ฤาชัย	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
6. นายธิติ	เศรษฐิเวียงภูบาล	วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
7. นายธงไชย	วีระสมัย	รก. วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
8. นายอิทธิวัตร์	กฤษณะวณิช	รก. วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
9. นายชวเลิศ	เลิศชวนะกุล	รก. วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
10. นายสมเจตน์	ยิ้มประเสริฐ	รก. วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
11. นายธานินทร์	นิยมสินธุ์	รก. วิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
12. นายนพรัตน์	เอี่ยมพานิช	นายช่างโยธา 7	คณะทำงาน
13. นายอำนวยพร	ศรีอิสรานุสรณ์	วิศวกรโยธา 5	คณะทำงาน

มีหน้าที่

พิจารณาแนวทางการปฏิบัติงานของนายช่างโครงการตามหลักเกณฑ์และวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม เพื่อใช้ประกอบคู่มือควบคุมการก่อสร้างงานสะพานและท่อเหลี่ยม เพื่อความเหมาะสมเป็นแนวทางเดียวกัน สอดคล้องกับระเบียบของราชการ

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๑๕ กรกฎาคม พ.ศ. 2547

(นายบุญส่ง ศุภมัสด์ศุกุล)
วิศวกรวิชาชีพ 9 วช
ประธานคณะกรรมการจัดทำคู่มือฯ

รายชื่อผู้เขียน

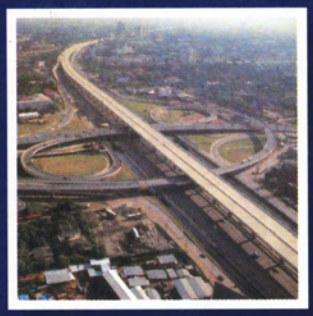
หัวข้อเรื่อง

1.	การสำรวจระบบพิกัด (Coordinate)	นายวิบูรณ์	ศรีก้อม
2.	เสาเข็มตอก (Driving Pile)	นายอิทธิวัตร์	กฤษณะวณิช
3.	เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงแบบแรงเหวี่ยง (Spun Pile)	นายอิทธิวัตร์	กฤษณะวณิช
4.	การตอกเสาเข็มขนาด 0.65 x 0.65 ในทะเล	นายวิชัย	ก๋งอุบล
5.	งานเสาเข็มเจาะ	นายธงไชย	วีระสมัย
6.	งานเสาเข็มเจาะ (กลางน้ำ)	นายธงไชย	วีระสมัย
7.	งานตอม่อสะพาน (Pile Cap, Column, Cap Beam)	นายอิทธิวัตร์	กฤษณะวณิช
8.	คานหัวเสารูปทรงพื้นยื่น (Cantilever Deck)	นายธิติ	เศรษฐิเวียงภูบาล
9.	แผ่นยางรองคาน (Bearing Pad)	นายกมล	หมั่นทำ
10.	Pot Bearing	นายธงไชย	วีระสมัย
11.	สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Bridge)	นายอิทธิวัตร์	กฤษณะวณิช
12.	งานก่อสร้างทางเท้า ราวสะพาน และขอบทาง	นายธานินทร์	นิยมสินธุ์
13.	ขอบทางแบบ Precast Fin	นายธานินทร์	นิยมสินธุ์
14.	คานคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Girder)	นายชัยดิษฐ์	ฤทธิ์ฤาชัย
15.	งานพื้นสะพาน (Deck Slab)	นายกมล	หมั่นทำ
16.	รอยต่อพื้นสะพาน (Expansion Joint)	นายกมล	หมั่นทำ
17.	Bridge Approach Structure	นายบัญชา	สุทัยบำรุง
18.	กำแพงกันดินแบบเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน (Reinforced Earth Wall)	นายธิติ	เศรษฐิเวียงภูบาล
19.	Bearing Unit	นายบัญชา	สุทัยบำรุง
20.	การหล่อ Pre-Cast Segment	นายวิชัย	ก๋งอุบล
21.	การติดตั้ง Pre-Cast Segment	นายวิชัย	ก๋งอุบล
22.	การก่อสร้างด้วยวิธี Balance Cantilever	นายธงไชย	วีระสมัย
23.	งานก่อสร้างทางลอด (Underpass)	นายชวเลิศ	เลิศชวนะกุล
24.	ท่อเหลี่ยม คสล. (R.C. Box Culvert)	นายอิทธิวัตร์	กฤษณะวณิช
25.	งานป้องกันสนิมของเหล็กเสริมโครงสร้างโดยวิธี Cathodic Protection	นายวิชัย	ก๋งอุบล

รายนามผู้สนับสนุนการจัดทำ

1. บริษัท สี่แสงโยธาการ จำกัด
2. บริษัท ประยูรวิศว์การช่าง จำกัด
3. บริษัท ชิโน-ไทย เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)
4. บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวลลอปเมนต์ จำกัด (มหาชน)
5. บริษัท เนาวรัตน์พัฒนาการ จำกัด (มหาชน)
6. บริษัท คริสเตียนีและนีลเส็น(ไทย)จำกัด (มหาชน)
7. บริษัท พี.พี.ดี. คอนสตรัคชั่น จำกัด
8. บริษัท พรหมวิวัฒน์ จำกัด
9. บริษัท เอ็มซี คอนสตรัคชั่น (1979) จำกัด
10. บริษัท เชียงใหม่คอนสตรัคชั่น จำกัด
11. บริษัท เอส แอล พี เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
12. บริษัท เอกชัยอุบล (2523) จำกัด
13. บริษัท แสงชัยโชค จำกัด
14. บริษัท ทิพากร จำกัด
15. บริษัท โรจน์สินก่อสร้าง จำกัด
16. บริษัท บุญชัยพาณิชย์ (1979) จำกัด
17. บริษัท วณิชชัยก่อสร้าง (1979) จำกัด
18. บริษัท สุวลี จำกัด
19. บริษัท พีระมิด คอนกรีต จำกัด
20. บริษัท กรุงธนเอ็นยิเนียร์ จำกัด
21. บริษัท มงคลลาภ จำกัด
22. ห้างหุ้นส่วน กิจรุ่งเรืองก่อสร้าง จำกัด
23. ห้างหุ้นส่วน ศิลาชัย ก่อสร้าง จำกัด
24. บริษัท ศิริผลวัฒนา (1979) จำกัด
25. บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

พิมพ์ที่ บริษัท โชคอนันต์การพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ จำกัด โทร. 0-2984-1781-4 แฟกซ์. 0-2984-1785



(BUREAU OF BRIDGE CONSTRUCTION, DEPARTMENT OF HIGHWAYS)