# บทที่ 4
# การก่อสร้างโครงสร้างส่วนบนของสะพาน

โครงสร้างส่วนบนของสะพานประกอบด้วยพื้นสะพาน ทางเท้า และราวสะพาน เพื่อเสริมความมั่นคงแข็งแรง ความปลอดภัย และความสมบูรณ์ในการใช้ประโยชน์ของสะพาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

## 4.1 พื้นสะพาน

รูปแบบของพื้นสะพานคอนกรีตช่วงความยาวไม่เกิน 10.00 เมตร แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดหล่อในที่ และชนิดคานคอนกรีตอัดแรง

### 4.1.1 พื้นสะพานชนิดหล่อในที่

การก่อสร้างต้องใช้นั่งร้านทำหน้าที่ค้ำยัน และรองรับแบบหล่อท้องพื้นสะพานเป็นการชั่วคราว แล้วจึงรื้อออกในภายหลัง

**4.1.1.1 การเลือกใช้พื้นสะพานชนิดหล่อในที่** เหมาะสำหรับกรณีดังนี้

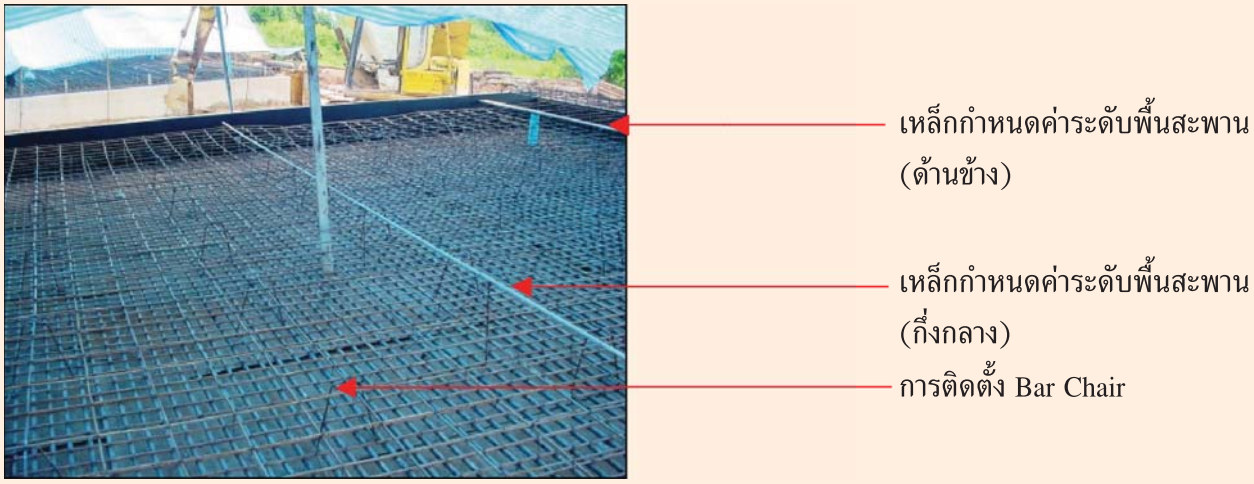
- สภาพดินท้องลำน้ำต้องไม่เป็นดินอ่อนมาก และสามารถรองรับน้ำหนักพื้นสะพานที่ถ่ายลงดินผ่านนั่งร้านได้ดี
- การก่อสร้างนั่งร้านไม่ก่อให้เกิดปัญหากีดขวางต่อการสัญจรทางน้ำ
- มีระยะเวลาก่อสร้างเพียงพอ เนื่องจากพื้นสะพานชนิดนี้ต้องใช้เวลาในการก่อสร้างมากกว่าพื้นสะพานชนิดคานคอนกรีตอัดแรง
- แนวสะพานอยู่ในโค้งราบ หรือเป็นพื้นสะพานแบบปากผาย ซึ่งรูปแบบค่อนข้างจะยุ่งยากต่อการก่อสร้าง เนื่องจากพื้นหล่อในที่สามารถก่อสร้างได้หลากหลายรูปแบบ

**4.1.1.2 ประเด็นสำคัญที่ต้องตรวจสอบและควบคุมคุณภาพการทำงาน** มีดังนี้

- หลังจากตกแต่งคานหัวเสา (Cap Beam) แล้วเสร็จ จะต้องตรวจสอบความถูกต้องของแนวศูนย์กลางของสะพาน และค่าระดับท้องพื้นสะพานตามแบบรายละเอียดการก่อสร้าง (Shop Drawing) ที่ผู้รับจ้างจัดทำเสนอ
- ตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งเหล็ก Dowel ซึ่งทำหน้าที่ยึดพื้นสะพานไว้กับคานหัวเสา โดยทั่วไปผู้รับจ้างอาจใช้วิธีฝังเหล็ก Dowel ไว้พร้อมกับการก่อสร้างคานหัวเสา หรืออาจใช้วิธีเปิดช่องเป็นรูเอาไว้บนคานหัวเสา เพื่อติดตั้งเหล็ก Dowel ในภายหลังพร้อมกับการก่อสร้างพื้นสะพาน
- ตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งการจัดวางแผ่นยางรองพื้นสะพาน (Bearing Pad) ซึ่งเป็นตัวคั่นแยกพื้นสะพานกับคานหัวเสาออกจากกัน ทำหน้าที่เป็นวัสดุลดแรงกระแทกที่เกิดจากน้ำหนักโครงสร้างส่วนบนและน้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะ
- ตรวจสอบตำแหน่ง Fixed End และ Free End ของพื้นสะพานให้ถูกต้อง เพื่อให้พฤติกรรมในการรับน้ำหนักของพื้นสะพานเป็นไปอย่างถูกต้องตามทฤษฎีของพื้นสะพานแบบช่วงเดี่ยว

(Simple Span) กล่าวคือ ด้าน Fixed End จะต้องให้คอนกรีตพื้นสะพานยึดติดกับเหล็ก Dowel (เสมือน Hinge Support ที่ยอมให้มีการแอ่นตัวโดยไม่มีการเคลื่อนตัว) และด้าน Free End จะเว้นช่องเพื่อทำเป็นรูโดยการใส่ท่อที่มีขนาดใหญ่กว่าหุ้มเหล็ก Dowel ไว้ (เสมือน Roller Support ที่ยอมให้มีการเคลื่อนตัวโดยไม่มีการแอ่นตัว)

- ตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของนั่งร้าน โดยให้ผู้รับจ้างจัดทำแบบรายละเอียดของนั่งร้านพร้อมรายการคำนวณที่มีการรับรองจากวิศวกรที่มีใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม แล้วควบคุมให้เป็นไปตามแบบรายละเอียดดังกล่าว กรณีที่เป็นนั่งร้านชนิดเสาไม้เบญจพรรณ (ไม้ยาง ไม้สน หรือไม้ยูคาลิปตัส) จะต้องควบคุมให้ผู้รับจ้างตอกเสาไม้ให้ฝังจมอยู่ในชั้นดินที่แข็งแรง โดยสังเกตจากอัตราการจมในขณะตอกเพื่อป้องกันการทรุดตัวในขั้นตอนการเทคอนกรีต และจะต้องยึดจุดต่อต่างๆ ของนั่งร้านให้แข็งแรงครบถ้วน เช่น จุดยึดระหว่างเสากับไม้ยึดเสา จุดยึดระหว่างเสากับคาน และจุดยึดระหว่างคานกับตง เป็นต้น รวมถึงการอัดลิ่มช่องว่างระหว่างคานกับตง และระหว่างตงกับแบบหล่อท้องพื้นสะพานให้แน่นเพื่อป้องกันการทรุดหรือแอ่นตัวของแบบหล่อ




รูปที่ 4-1 เหล็กเสริมพื้นสะพานแบบหล่อในที่และการติดตั้ง Bar Chair

รูปที่ 4-2 เทคอนกรีตพื้นสะพานแบบหล่อในที่ (Slab Type)

- เมื่อผู้รับจ้างปูแบบท้องพื้นสะพานเรียบร้อยแล้ว จะต้องตรวจสอบความถูกต้องของค่าระดับอีกครั้งหนึ่งก่อนจัดวางเหล็กเสริม โดยค่าระดับท้องพื้นสะพานอาจมีการเผื่อการทรุดตัวของนั่งร้านประมาณ 1.00-1.50 เซนติเมตร หรือตามความเหมาะสม

- ตรวจสอบความถูกต้องของเหล็กเสริมพื้นสะพานทั้งขนาด ระยะห่าง และจำนวนรวมถึงระยะหุ้มคอนกรีต (Covering) โดยเหล็กเสริมชั้นบนที่อยู่ใกล้ผิวพื้นสะพานจะต้องมีการค้ำยันให้แข็งแรงและให้อยู่ในระดับหรือตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยทั่วไปจะติดตั้ง Bar Chair เป็นค้ำยัน

- ตรวจสอบความถูกต้องของค่าระดับ และความมั่นคงแข็งแรงของเหล็กกำหนดระดับ ที่ติดตั้งชั่วคราวในระหว่างเทคอนกรีตเพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระดับผิวพื้นสะพานถูกต้องตามค่าที่กำหนด โดยทั่วไปเหล็กกำหนดระดับอาจติดตั้งตามแนวยาวของพื้นสะพานหรือตามแนวขวางของพื้นสะพานก็ได้ และควรกำหนดค่าระดับไว้ทุกระยะ 5.00 เมตร ตามความยาวสะพาน เพื่อควบคุมให้ผิวพื้นสะพานเรียบได้แนว เช่นในกรณีพื้นสะพานมีค่าระดับโค้งตามแนวดิ่ง จะช่วยให้ได้ผิวพื้นสะพานที่เป็นแนวโค้งต่อเนื่องสวยงาม ทั้งนี้จะต้องกำหนดค่าระดับผิวพื้นสะพานตามแนวขวางของพื้นสะพานให้สอดคล้องกับค่าความลาดเอียง (Crown Slope) ตามแบบก่อสร้างด้วย

รูปที่ 4-3 พื้นสะพานแบบหล่อในที่

- เนื่องจากพื้นสะพานชนิดหล่อในที่จะใช้คอนกรีตในปริมาณมาก ดังนั้นเพื่อให้การเทคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่องรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ผู้ควบคุมงานควรแนะนำผู้รับจ้างให้จัดเตรียมความพร้อมให้ดีทั้งการผลิตและขนส่งคอนกรีตจากโรงงานผสมคอนกรีต (Concrete Plant) และความพร้อมหน้างาน ได้แก่ การจัดทางลำเลียงคอนกรีต การจัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือ เช่น เครื่องจี้คอนกรีต เครื่องเชื่อม และเครื่องตัดเหล็กสำหรับการติดตั้งและรื้อถอนเหล็กระดับ อุปกรณ์แต่งผิวคอนกรีตพื้นสะพาน ไม้กวาดลากผิวพื้นคอนกรีต โม่ผสมคอนกรีตสำรองไว้ใช้กรณีฉุกเฉิน วัสดุคลุมสำหรับบ่มคอนกรีต โครงหลังคาพร้อมผ้าใบคลุมกรณีฝนตก และไฟฟ้าแสงสว่างกรณีทำงานต่อเนื่องถึงช่วงกลางคืน และการจัดเตรียมคนงานให้เพียงพอ

- ควบคุมให้มีการทำผิวหน้าคอนกรีตให้หยาบเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัว และให้มีการกรีดผิวหน้าคอนกรีตด้วยไม้กวาดลากผิวพื้นให้เป็นร่องตามแนวตั้งฉากกับแนวสะพาน โดยให้ขนานกันอย่างเป็นระเบียบและสวยงาม ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความต้านทานในการลื่นไถลของล้อยานพาหนะ

รูปที่ 4-4 การกรีดผิวหน้าคอนกรีต

- ตรวจสอบและควบคุมรอยต่อระหว่างพื้นสะพานแต่ละช่วงให้ได้แนวและมีระยะห่างตามที่แบบก่อสร้างกำหนด โดยทั่วไปรอยต่อพื้นสะพานจะมีระยะห่างเท่ากับ 2.00 เซนติเมตร นอกจากนี้ในช่องว่างระหว่างรอยต่อตลอดความหนาของพื้นสะพานจะต้องมีการจัดวางกระดาษชานอ้อยชุบน้ำมันดินให้เต็มช่องว่าง เพื่อทำหน้าที่เป็นวัสดุกั้นรอยต่อ (Joint Filler)
- เมื่อเทคอนกรีตแล้วเสร็จและแต่งผิวหน้าเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะต้องควบคุมให้ใช้วัสดุคลุมเพื่อบ่มคอนกรีตทันที และให้มีการบ่มอย่างต่อเนื่องตามข้อกำหนด
- ควบคุมการตกแต่งรอยต่อพื้นสะพานที่ผิวบนให้ได้แนว และให้อุดด้วยวัสดุยาแนว (Joint Sealer) ที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนด

**ข้อแนะนำ**

- การเทคอนกรีตพื้นสะพานควรเทในลักษณะเป็นแถบ (Strip) ตามความยาวพื้นสะพานแต่ละแถบกว้างประมาณ 2.00 เมตร เพื่อให้คอนกรีตมีความต่อเนื่องตามแนวยาวสอดคล้องกับหลักการออกแบบพื้นสะพาน
- การใช้พื้นที่บนพื้นสะพานที่เทคอนกรีตแล้ว เพื่อทำงานต่อเนื่องหรือเก็บกองวัสดุหรือขนส่งวัสดุก่อสร้างผ่าน ต้องรอให้คอนกรีตได้อายุตามเกณฑ์กำหนดก่อน
- การรื้อถอนนั่งร้านค้ำยันพื้นสะพานก่อนกำหนด จะต้องทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างก่อนว่าอยู่ในเกณฑ์ที่อนุญาตได้หรือไม่
- หลังจากรื้อถอนนั่งร้านค้ำยันพื้นสะพานแล้ว ควรตรวจสอบค่าระดับของพื้นสะพานที่ตำแหน่งกึ่งกลางอีกครั้งว่าเปลี่ยนแปลงไปจากค่าระดับที่กำหนดก่อนเทคอนกรีตหรือไม่อย่างไร เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้กำหนดค่าระดับเผื่อการทรุดตัวในโอกาสต่อไป

### 4.1.2 พื้นสะพานชนิดคานคอนกรีตอัดแรง

สำหรับสะพานช่วงไม่เกิน 10.00 เมตร โดยมีลักษณะพื้นเป็นแบบช่วงเดี่ยว สามารถเลือกใช้พื้นเป็นแบบคานคอนกรีตอัดแรงได้ โดยรูปแบบที่เป็นที่นิยม คือ คานคอนกรีตอัดแรงแบบแผ่นพื้น (Plank Girder) พื้นสะพานชนิดนี้มีความสะดวกที่ไม่ต้องก่อสร้างนั่งร้าน โดยสามารถติดตั้ง Plank Girder ลงบนคานหัวเสาตอม่อให้เรียงชิดติดกัน แล้วเทคอนกรีตทับหน้าเพื่อเป็นพื้นสะพานต่อไปได้เลย

**4.1.2.1 การเลือกใช้พื้นสะพานชนิดคานคอนกรีตอัดแรง** เหมาะสำหรับกรณีดังนี้

- สภาพดินท้องลำน้ำไม่เหมาะต่อการก่อสร้างนั่งร้าน เช่น มีสภาพเป็นดินอ่อน หรือต้องก่อสร้างนั่งร้านสูงมาก
- มียานพาหนะสัญจรทางน้ำเป็นประจำ หากก่อสร้างนั่งร้านจะทำให้เกิดการกีดขวางเส้นทางจราจร
- ต้องการลดระยะเวลาในการก่อสร้าง เนื่องจากพื้นสะพานชนิดนี้จะใช้เวลาทำงานน้อยกว่าพื้นสะพานชนิดหล่อในที่
- สามารถขนส่งคานคอนกรีตอัดแรงจากโรงงานผลิตไปยังสถานที่ก่อสร้างได้โดยสะดวก
- บริเวณก่อสร้างมีพื้นที่เพียงพอสำหรับการจอดทำงานของรถเครนในการยกติดตั้งคาน

**4.1.2.2 ประเด็นสำคัญที่ต้องตรวจสอบและควบคุมคุณภาพการทำงาน** มีดังนี้

**1) ตรวจสอบสถานที่หล่อคานแบบแผ่นพื้น (Plank Girder) หรือแท่นผลิต (Yard) และส่วนประกอบของระบบการอัดแรง** โดยใช้วิธีตรวจประเมินด้วยสายตา ดังนี้

- แท่นรับแรง (Bed) ซึ่งทำหน้าที่รับแรงอัดที่เกิดจากการดึงลวดอัดแรงชั่วคราว (ก่อนที่จะมีการตัดลวดเพื่อถ่ายแรงสู่คอนกรีตในภายหลัง) จะต้องเป็นแนวตรงและอยู่ในสภาพดี
- แผ่นเหล็กเจาะรูสำหรับร้อยลวดอัดแรงที่บริเวณหัว-ท้ายของแท่นรับแรง จะต้องติดตั้งอยู่ที่ระดับที่ถูกต้องและมีการเชื่อมยึดกับแท่นรับแรงอย่างแข็งแรง

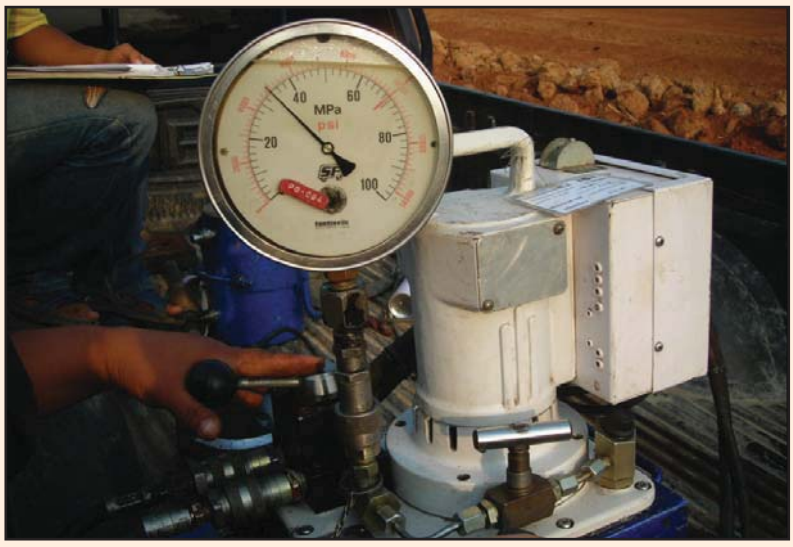
รูปที่ 4-5 ตรวจสอบแท่นรับแรง (Bed)

- พื้นหรือฐานรองรับแบบหล่อ จะต้องมีระดับเรียบเท่ากันไม่ทรุดตัว
- แบบหล่อด้านข้างจะต้องอยู่ในสภาพเรียบร้อยไม่บิดเบี้ยว เป็นแนวตรง

รูปที่ 4-6 ตรวจสอบพื้นแบบหล่อ

- อุปกรณ์ดึงลวด (Hydraulic Jack & Pump) จะต้องอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน โดยให้ทำการทดลองใช้งานก่อนทำงานจริง

- มาตรวัดแรงดัน (Pressure Guage) จะต้องมีตัวเลขที่ชัดเจน มีการทดสอบปรับเทียบค่า (Calibration) และมีใบรับรองผลอายุไม่เกิน 6 เดือน




รูปที่ 4-7 มาตรวัดแรงดัน (Pressure Guage) ของอุปกรณ์ดึงลวดอัดแรง

**2) ควบคุมการดึงลวดอัดแรง**

- เปรียบเทียบค่าแรงดึงสุดท้ายตามที่กำหนดในแบบก่อสร้างกับผลการปรับเทียบค่า (Calibration) ของมาตรวัดแรงดัน เพื่อใช้เป็นค่าควบคุมแรงดึง

- ตรวจสอบระยะยืด (Elongation) ของลวดอัดแรงทุกเส้นว่าเป็นไปตามค่าที่คำนวณได้หรือไม่ เนื่องจากระยะยืดจะสัมพันธ์กับแรงดึง ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจทานความถูกต้องของแรงดึงอีกชั้นหนึ่ง โดยจะต้องมีการจดบันทึกค่าแรงดึงและระยะยืดของลวดอัดแรงไว้เป็นหลักฐานทุกครั้ง

**3) ตรวจสอบความเรียบร้อยก่อนเทคอนกรีต**

รูปที่ 4-8 ตรวจสอบเหล็กเสริมและความเรียบร้อยของแบบหล่อก่อนการเทคอนกรีต
คานแบบแผ่นพื้น (Plank Girder)

- ตรวจนับจำนวนเหล็กเสริมแต่ละขนาดและแต่ละตำแหน่งให้ถูกต้องครบถ้วนตามแบบก่อสร้างและตำแหน่งของเหล็กรับแรงเฉือนด้านข้าง ทั้งชั้นบนและล่าง ยึดให้มั่นคงไม่เคลื่อนตัวขณะเทคอนกรีต

- ตรวจสอบระยะหุ้มคอนกรีต (Covering) ให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างหรือข้อกำหนด

- ตรวจสอบการเว้นช่อง เพื่อเจาะรูสำหรับฝัง Dowel Bar ที่ปลายคานให้มีขนาดและตำแหน่งที่ถูกต้อง

**4) ควบคุมการเทคอนกรีต**

- ตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีตก่อนนำมาใช้งาน ขณะเทคอนกรีตให้ใช้เครื่องเขย่าแบบหล่อหรือใช้เครื่องจี้ทำการจี้คอนกรีตจนคอนกรีตแน่นเต็มแบบหล่อ จากนั้นเก็บตัวอย่างคอนกรีตไม่น้อยกว่า 3 ชุด (ชุดละ 3 แท่ง) เพื่อทดสอบกำลังอัด

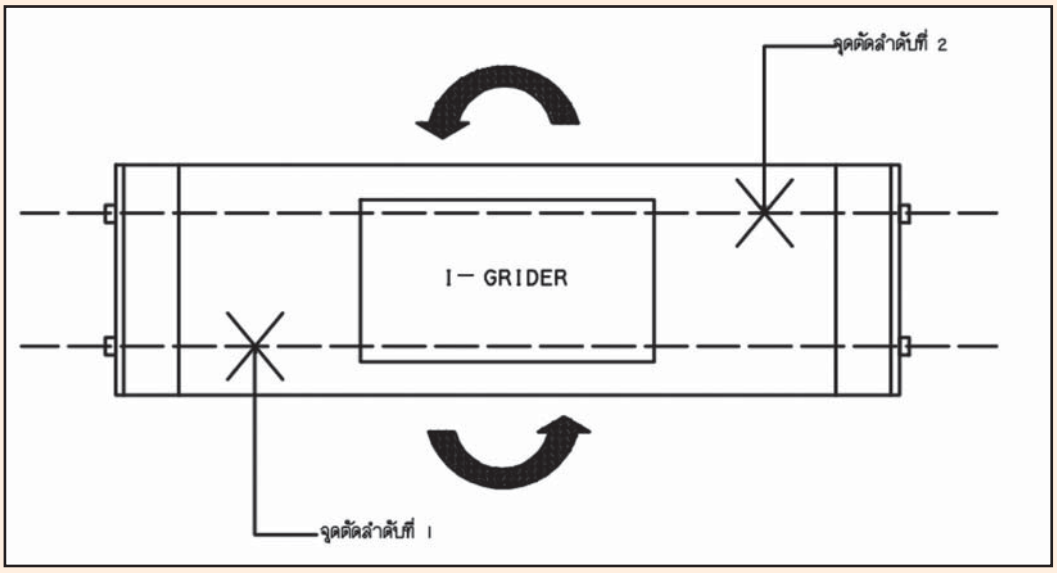
- หลังจากเทคอนกรีตเสร็จเรียบร้อย ให้ทำการบ่มด้วยการใช้กระสอบหรือแผ่นพลาสติกคลุมเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ซึ่งจะมีผลต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต

**5) ควบคุมการตัดลวดอัดแรงเพื่อถ่ายแรงสู่คอนกรีต**

- ก่อนตัดลวดอัดแรงต้องมีการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตให้มีกำลังอัดได้ตามข้อกำหนด โดยปกติจะกำหนดให้ตัดลวดได้เมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 85% ของกำลังอัดที่ 28 วัน

- ให้ตัดลวดอัดแรงสลับซ้าย-ขวา ครั้งละ 1-2 เส้น เพื่อให้การถ่ายแรงเป็นไปอย่างสมดุลไม่เกิดแรงกระทำที่แตกต่างกันมากเกินไป ซึ่งจะทำให้แผ่นพื้นบิดตัวเสียรูปได้

- การตัดลวดเหล็กจะต้องทำการลำดับเส้นลวดที่จะตัดให้เกิดการสมดุลของแรงซ้ายและขวาของหน้าตัดโครงสร้าง เพื่อลดปัญหาการบิดหมุนที่อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างได้




รูปที่ 4-9 แสดงการหมุนของคาน เนื่องจากลำดับการตัดเส้นลวดไม่สมดุล

**6) การคำนวณการวัดค่าระยะยืดของเส้นลวด**

ค่าระยะยืด (Elongation) ของเส้นลวด เมื่อทำการดึงจนถึงค่าแรงที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ในแบบสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\Delta = PL/EA$$

โดยที่ P = ค่าแรงดึง กก.

L = ค่าความยาวของเส้นลวด : เมตร

E = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเส้นลวด ซึ่งได้จากการทดลอง ถ้าไม่สามารถหาได้ให้ใช้เท่ากับ 2,000,000 กก./ตร.ซม.

A = พื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด ตร. ซม.

**ตัวอย่าง** การคำนวณหาค่าระยะยืดของคานคอนกรีตอัดแรงช่วง 10.00 เมตร (Plank Girder) กำหนดให้

- ลวดเหล็ก P.C. Strand Dai 3/8'' Grade-250k
- แรงดึงในเส้นลวด (Initial Prestressing Force) P = 6,350 กก.
- พื้นที่หน้าตัดเส้นลวด A = 0.5161 ตร.ซม.
- ความยาวเส้นลวด L = 127.90 ม.

ระยะยืด $\Delta = \dfrac{6{,}350 \times 127.90 \times 100}{2{,}000{,}000 \times 0.5161}$

$= 78.68$ ซม.

เมื่อทำการดึงเส้นลวดจนได้ค่าระยะยืดตามที่คำนวณได้แล้ว ก่อนที่จะคลายแรงดึงเครื่องดึงลวดจะต้องจัด Grip ยึดเส้นลวดให้เข้าที่เรียบร้อย พร้อมทั้งให้ทำการดึงเผื่อการ Slip ของเส้นลวดและการขยับตัวเข้าที่ของ Grip อีกประมาณ 0.50-1.00 เซนติเมตร ซึ่งผู้ควบคุมงานสามารถวัดค่า Slip จากลวดเส้นแรก เพื่อที่กำหนดค่าเผื่อ Slip ของเส้นลวดอื่นๆ ที่เหลือได้ ดังตัวอย่างรายการคำนวณการดึงลวดอัดแรงในภาคผนวก หน้า 125-128

**7) การตรวจสอบและการควบคุมการดึงลวดเหล็ก**

ก่อนที่จะนำเครื่องดึงลวดชุดใด ๆ มาใช้งาน ผู้ควบคุมงานจะต้องตรวจสอบหมายเลข Hydraulic Pump และหมายเลข Hydraulic Jack ให้แน่ใจว่าเป็นชุดเดียวกันกับที่นำไปทำการทดสอบ Calibration Test จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบค่าแรงที่จะดึงกับค่าแรงที่จะอ่านหน้าปัดเกจของเครื่องดึงลวดซึ่งการเปรียบเทียบหาค่าแรงที่อ่าน (Gauge Reading) จะทำได้โดยการคำนวณตามสมการเส้นตรงที่ได้จากผลการทดสอบ Calibration Test เช่น ถ้าค่า Actual Load P = 6,350 Kg จะหาค่า Gauge Reading ได้ดังนี้

$$\text{Actual Load} = (\text{Gauge Reading} \times 91.902) - 514.722$$

$$\text{Gauge Reading} = \frac{6{,}350+514.722}{91.902}$$

$$= 74.70 \text{ bars}$$

แสดงว่าเมื่อแรงดึงในเส้นลวด = 6,350 กก. ค่าอ่านจากเกจได้ 74.70 bars และเส้นลวดจะยืดเท่ากับ 78.68 เซนติเมตร

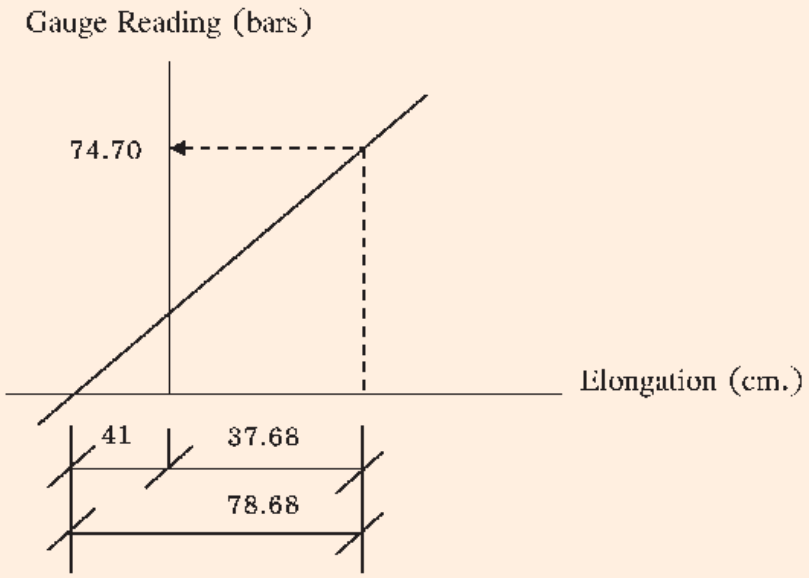
โดยปกติจะดึงลวดด้วยแรงประมาณ 50% ของแรงที่จะดึงทั้งหมดก่อน แล้วจึงทำการผูกเหล็กเสริมคาน และประกอบแบบข้างคาน เพื่อลดอันตรายจากการดูดของเส้นลวดขณะคนงานกำลังผูกเหล็ก เช่น อาจใช้แรง 40 bars เป็นแรงดึง Preload ก่อน เมื่อผูกเหล็กเสริมประกอบแล้วจึงทำการดึงต่อจนถึง 74.70 bars แล้วจึงดึงเผื่อค่า Slip ต่อไป

ในการควบคุมแรงดึงในเส้นลวดให้ได้ตามที่แบบกำหนดนั้น ผู้ควบคุมงานจะต้องตรวจสอบทั้งค่าที่อ่านได้จากเกจวัดแรงดันน้ำมันไฮดรอลิค และค่าระยะยืดของเส้นลวด โดยเมื่อทำการดึงแรงต่อจากค่าแรง Preload ให้จดบันทึกค่าแรงดึงและระยะที่วัดได้ประมาณ 2-3 ค่า เพื่อที่จะนำมา Plot กราฟ หาค่าระยะยืดในช่วงที่ Preload เช่น

**ตารางที่ 4-1 ค่าแรงดึงกับระยะยืดของเส้นลวด**

| Gauge Reading (bars) | Elongation (cm.) |
|---|---|
| 45 | 5.70 |
| 50 | 11.40 |
| 55 | 17.00 |

เมื่อนำค่าที่อ่านได้มา Plot กราฟ จะได้ค่าดังนี้




รูปที่ 4-10 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืด

ระยะยืดที่เกิดขึ้นแล้วในช่วง Preload = 41 ซม. (ได้จากการต่อเส้นกราฟ ตัดกับเส้นแกนนอน Elongation)
ระยะยืดที่จะต้องดึงเพิ่ม = 78.68 – 41 = 37.68 ซม.

เมื่อทำการดึงเพิ่มอีก 37.68 เซนติเมตรแล้ว ค่าแรงดันน้ำมันจะต้านได้ 74.70 bars ซึ่งสอดคล้องตรงกันกับกราฟแล้วก็ถือว่าการดึงลวดอัดแรงเส้นนี้ใช้ได้

รูปที่ 4-11 การดึงลวดอัดแรง

รูปที่ 4-12 การอ่านค่าแรงดึงลวด

รูปที่ 4-13 การวัดค่าระยะยืดของ

**8) ความปลอดภัยในการทำงาน**

เมื่อมีการดึงลวดอัดแรง จะมีพลังงานจำนวนหนึ่งสะสมอยู่ในตัวลวดอัดแรง ในกรณีที่ลวดอัดแรงขาดขณะที่รับแรงดึงเต็มที่หรืออยู่ในขั้นตอนการดึงหรือเพราะสมอยึดหลุดออกก็อาจเกิดอันตรายร้ายแรงต่อผู้ปฏิบัติงานหรืออุปกรณ์ในการทำงาน เนื่องจากการปลดปล่อยพลังงานนี้อย่างทันทีทันใด แม้ว่ายังไม่มีวิธีการใดที่จะป้องกันอันตรายจากอุบัติภัยดังกล่าวได้อย่างสมบูรณ์แบบ แต่ทุกครั้งที่ดึงลวดอัดแรงหรือต้องทำงานใกล้กับลวดอัดแรงที่ดึงไว้แล้วก็ควรมีหลักปฏิบัติเพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายจากการทำงาน เช่น ผู้ปฏิบัติงานต้องไม่ยืนอยู่ในแนวเดียวกับลวดอัดแรง สมอยึด หรือเครื่องดึงลวดอัดแรง และไม่เดินบนลวดอัดแรง นอกจากนั้นยังควรมีสิ่งป้องกันที่ทำได้ง่าย ๆ เช่น ทำกำแพงคอนกรีตในแนวเดียวกับลวดเหล็กและหลังเครื่องดึงลวดอัดแรง เพื่อป้องกันอันตรายให้แก่ผู้ปฏิบัติงานที่จำเป็นต้องเดินผ่านไปโรงงานหรือสถานที่แต่ละแห่ง ต้องมีมาตรการป้องกันอันตรายอันเหมาะสมเฉพาะแต่ละแห่งที่ไม่กระทบต่อกระบวนการผลิตตามปกติจนเกินความจำเป็นและต้องตระหนักไว้เสมอว่า มาตรการป้องกันอันตรายที่ให้ประสิทธิผลสูงสุด คือ การฝึกอบรมบุคลากรให้มีความรู้ ความเข้าใจถึงเทคนิคของการอัดแรง และวิธีการปฏิบัติตัวเมื่อจำเป็นต้องอยู่ใกล้กับลวดอัดแรงขณะที่กำลังดึงอยู่

**9) ควบคุมการตกแต่งคานและการขนย้ายไปเก็บกอง**

- หลังจากตัดลวดอัดแรงแล้วจะต้องตรวจสอบให้มีการตัดแต่งปลายลวดอัดแรงที่ยื่นออกมาให้เรียบเสมอผิวคอนกรีต แล้วทาปลายลวดอัดแรงด้วยวัสดุประสานรอยต่อกำลังสูง (Epoxy) หรือสีกันสนิมหรือวัสดุอื่นที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการเกิดสนิม

- การขนย้ายคานไปเก็บกองในโรงงานหรือสถานที่ก่อสร้าง จะต้องควบคุมให้มีการยกคานและการวางหมอนรองรับคาน ทั้งในขณะขนส่งและในขณะวางกองที่จุดยก ตามที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้างเท่านั้น

รูปที่ 4-14 การเก็บกองคานคอนกรีตอัดแรงแบบแผ่นพื้น (Plank Girder)

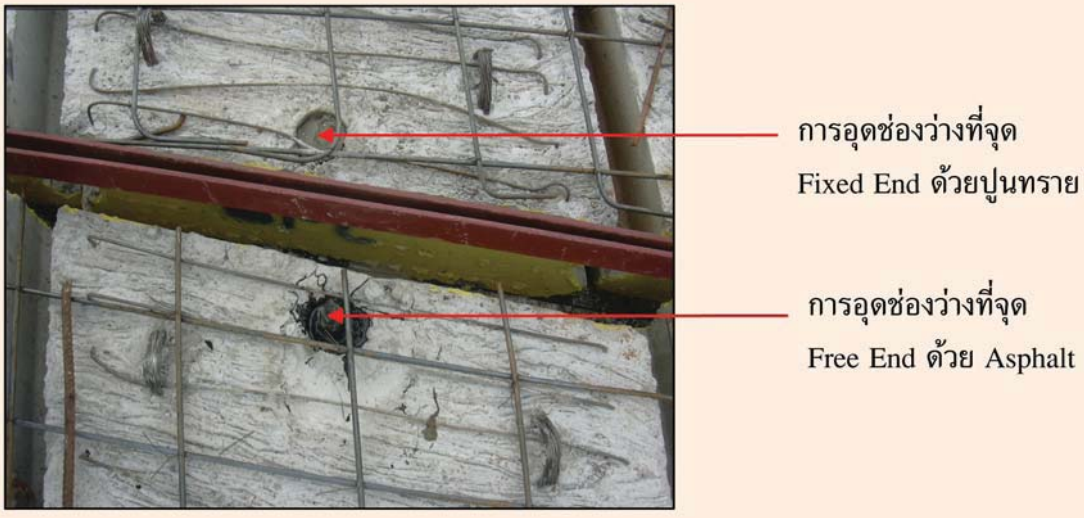
**10) การติดตั้งคานคอนกรีตอัดแรงแบบแผ่นพื้น**

- ให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการติดตั้งคานต่อผู้ควบคุมงาน เพื่อพิจารณาความเหมาะสมก่อนดำเนินการ โดยทั่วไปจะใช้รถเครนที่มีความสามารถในการยกน้ำหนักได้มากกว่าน้ำหนัก Plank Girder 1 คาน อีก 1 เท่า เพื่อความปลอดภัย

- ตรวจสอบอุปกรณ์ที่จะใช้ในการติดตั้งให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานได้ตามปกติก่อนอนุญาตให้ทำการติดตั้ง

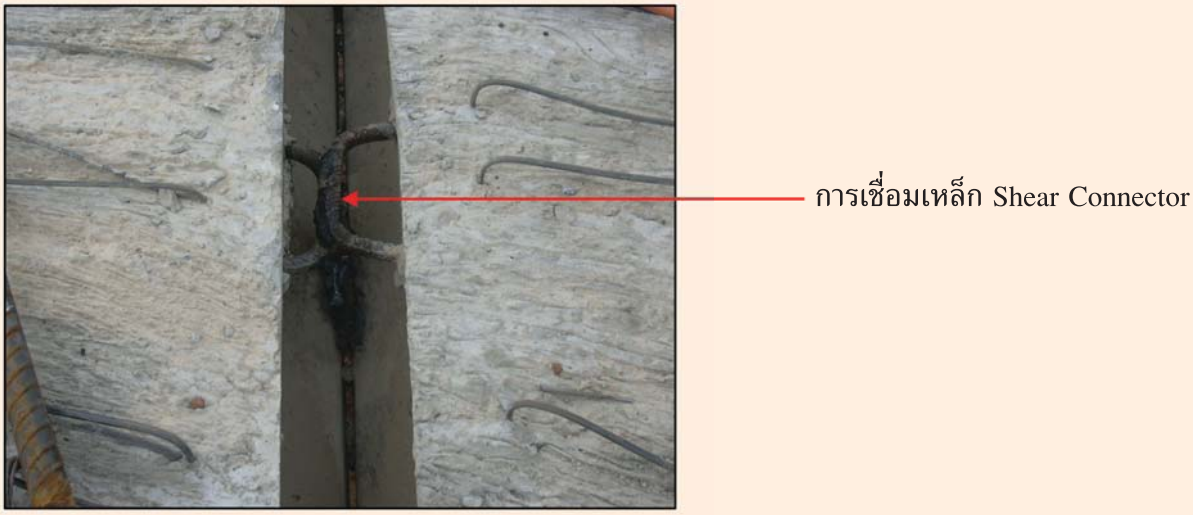
รูปที่ 4-15 การติดตั้งคานคอนกรีตอัดแรงแบบแผ่นพื้น (Plank Girder)

- ควบคุมการติดตั้ง Plank Girder ให้ตรงตำแหน่ง และตรงกับ Dowel Bar ที่เตรียมไว้ รวมทั้งตรวจสอบตำแหน่ง Fixed End และ Free End ของพื้นสะพานให้ถูกต้อง เพื่อให้พฤติกรรมในการแอ่นตัวของพื้นสะพานเป็นไปอย่างถูกต้องตามทฤษฎีของพื้นสะพานแบบช่วงเดี่ยว (Simple Span) โดยจุดที่เป็น Free End ให้ใช้ Asphalt อุดให้เต็มช่องว่าง และในจุดที่เป็น Fixed End ให้กรอกด้วยปูนทรายจนเต็ม




รูปที่ 4-16 การอุดช่องว่างที่จุด Fixed End และ Free End

- ตรวจสอบการเชื่อมเหล็กรับแรงเฉือน (Shear Connector) ที่ข้างคานให้เรียบร้อยแน่นหนาตามรูปแบบ




รูปที่ 4-17 การเชื่อมเหล็กรับแรงเฉือน (Shear Connector) ที่ข้างคาน

- ตรวจสอบความถูกต้องของเหล็กเสริมพื้นทับหน้า ทั้งขนาด ระยะห่าง และจำนวนรวมถึงระยะหุ้มคอนกรีต (Covering) โดยจะต้องหนุนเหล็กเสริมให้อยู่ในระดับที่ถูกต้อง

- ตรวจสอบความถูกต้องของค่าระดับและความมั่นคงแข็งแรงของเหล็ก กำหนดระดับที่ติดตั้งชั่วคราวในระหว่างเทคอนกรีต เพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระดับผิวพื้นสะพานถูกต้องตามค่าระดับที่กำหนด โดยทั่วไปเหล็กกำหนดระดับอาจติดตั้งตามแนวยาวของพื้นสะพานหรือตามแนวขวางของพื้นสะพานก็ได้ และควรกำหนดค่าระดับไว้ทุกระยะ 5.00 เมตร ตามความยาวสะพาน เพื่อให้ได้พื้นผิวสะพานที่เรียบได้แนว และกรณีพื้นสะพานเป็นโค้งตามแนวดิ่ง จะทำให้พื้นผิวสะพานเป็นแนวโค้งที่ต่อเนื่องสวยงามไม่สะดุด และต้องกำหนดค่าระดับผิวพื้นสะพานตามขวางให้สอดคล้องกับค่าความลาดเอียงตามขวางของผิวสะพาน (Crown Slope) ตามแบบก่อสร้างด้วย

รูปที่ 4-18 การเทคอนกรีตทับหน้าพื้นสะพาน (Concrete Topping)

- ตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีตก่อนนำมาใช้งาน ขณะเทคอนกรีตให้ใช้เครื่องจี้คอนกรีตจนคอนกรีตแน่นเต็มร่องรอยต่อคานคอนกรีตอัดแรงแบบแผ่นพื้น และบนพื้นสะพานจากนั้นเก็บตัวอย่างคอนกรีตไม่น้อยกว่า 3 ชุด เพื่อทดสอบกำลังอัด

- เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวต้องควบคุมให้มีการขัดหยาบผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ และให้กรีดผิวหน้าคอนกรีตด้วยไม้กวาดลากผิวพื้นให้เป็นร่องตามแนวตั้งฉากกับแนวสะพานโดยให้ขนานกันอย่างเป็นระเบียบและสวยงาม ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความต้านทานในการลื่นไถลของล้อยานพาหนะ

รูปที่ 4-19 การแต่งผิวหน้าคอนกรีตด้วยไม้กวาดลากผิวพื้น

## 4.2 ทางเท้า

- ควบคุมการดัดเหล็กพื้นทางเท้าที่ติดตั้งมาพร้อมกับ Plank Girder ตัวริมให้ได้รูปทรงตามแบบก่อสร้าง

- ตรวจสอบความแข็งแรงของค้ำยัน และท้องแบบทางเท้า

- ตรวจสอบการติดตั้งแบบจมูกทางเท้า โดยวัดความกว้างพื้นสะพานทุก ๆ ช่วงรอยต่อความยาวสะพาน (Span) ให้ได้ความกว้างถึงจมูกทางเท้า ตามรูปแบบกำหนด

รูปที่ 4-20 การผูกเหล็กเสริมทางเท้าสะพาน

- ติดตั้งท่อระบายน้ำบนพื้นสะพานที่จะฝังอยู่ใต้ทางเท้าให้มั่นคงแข็งแรงไม่มีการเคลื่อนที่ระหว่างการเทคอนกรีตทางเท้า

รูปที่ 4-21 การติดตั้งท่อระบายน้ำใต้ทางเท้าสะพาน

- ตรวจสอบระดับหลังทางเท้า และความลาดเอียง ทุก ๆ ระยะ 5.00 เมตร
- ตรวจสอบความถูกต้องของเหล็กเสริมสำหรับเสาราวสะพาน และแท่นติดตั้งเสาไฟฟ้าที่ติดตั้งไว้บนทางเท้า
- ตรวจสอบรอยต่อระหว่างพื้นทางเท้าให้มีระยะห่าง 2.00 เซนติเมตร โดยใช้กระดาษชานอ้อยกั้น

รูปที่ 4-22 แสดงรอยต่อระหว่างพื้นทางเท้าสะพาน

- เมื่อคอนกรีตแข็งตัวให้ควบคุมการตัดแต่งรอยต่อทางเท้าให้เรียบร้อย และควบคุมการเซาะร่องรอยต่อระหว่างพื้นทางเท้าให้ลึก 2.00 เซนติเมตร แล้วจึงยาแนวรอยต่อด้วยวัสดุยาแนวรอยต่อคอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดต่อไป

รูปที่ 4-23 การตัดแต่งรอยต่อและเซาะร่องรอยต่อระหว่างพื้นทางเท้าสะพาน

## 4.3 ราวสะพาน

- ตรวจสอบการติดตั้งเหล็กเสริมเสาและราวสะพานให้ครบถ้วนและได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง
- ตรวจสอบแบบหล่อเสาราวสะพานให้ได้แนวดิ่ง
- ควบคุมการเทคอนกรีตเสาราวสะพานให้คอนกรีตไหลลงเต็มแบบเสา

รูปที่ 4-24 การประกอบแบบและเทคอนกรีตเสาราวสะพาน

- ตรวจสอบเหล็กราวสะพานให้ครบถ้วนถูกต้องได้ตำแหน่งตามรูปแบบที่กำหนด

รูปที่ 4-25 การติดตั้งเหล็กเสริมราวสะพานบนเสาราวสะพาน

- ตรวจสอบแบบหล่อราวสะพานให้ติดตั้งอย่างมั่นคงแข็งแรงได้แนวที่สวยงาม
- ควบคุมการเทคอนกรีตราวสะพานให้เต็มแบบหล่อ
- ควบคุมการตกแต่งผิวคอนกรีตหลังราวสะพานให้ผิวคอนกรีตเรียบ และสวยงาม
- ถอดแบบหล่อเมื่อคอนกรีตได้อายุ โดยควบคุมการถอดแบบด้วยความระมัดระวังไม่ให้คอนกรีตราวสะพานเกิดการชำรุด และแบบหล่อเสียหายบิดงอ เนื่องจากจะต้องนำไปประกอบใช้หล่อคอนกรีตราวสะพานในช่วงอื่น ๆ อีก โดยให้ตกแต่งผิวและมุมต่าง ๆ ของคอนกรีตราวสะพานอีกครั้ง เพื่อความเรียบร้อยสวยงาม

รูปที่ 4-26 การประกอบแบบและเทคอนกรีตราวสะพาน