

# การก่อสร้างทางยกระดับโดยใช้ชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูป ในประเทศไทย Bridge Construction with Precast Segmental Box Girder In Thailand

ปลิว ตรีวิศวะเวทย์

บริษัท ช. การช่าง จำกัด (มหาชน)

587 ถนนสุทธิสารวินิจฉัย แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400

**บทคัดย่อ** - การก่อสร้างทางยกระดับด้วยระบบชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูป เป็นการก่อสร้างสะพานระบบที่ใช้ชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งคานและพื้นสะพานในชิ้นเดียวผลิตจากโรงงาน แล้วนำมาติดตั้งในพื้นที่ก่อสร้าง มีกิจกรรมในพื้นที่ก่อสร้างน้อยกว่าและมีผลกระทบต่อจราจรน้อยกว่าการก่อสร้างสะพานด้วยระบบอื่น

**คำสำคัญ:** การก่อสร้างสะพาน, คานรูปกล่องสำเร็จรูป

**Abstract** - Bridge construction with precast segmental box girder is built with precast segmental box girders, acting as beam and slab in one piece, which produced from casting factory and delivery for installation at construction site. It has fewer activities at construction site and less effect to road traffic than other bridge construction systems.

**Keywords:** Bridge construction, Precast segmental box girder

## 1. บทนำ

ในปี พ.ศ. 2531 การทางพิเศษแห่งประเทศไทย มีความประสงค์ที่จะขยายระบบเครือข่ายระบบทางพิเศษ ได้ริเริ่มโครงการก่อสร้างทางพิเศษศรีรัช (ระบบทางด่วนขั้นที่ 2) ซึ่งเป็นทางพิเศษยกระดับหลายเส้นทาง ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

มีการพิจารณานำเอาการก่อสร้างทางยกระดับระบบคานรูปกล่องสำเร็จรูป (Precast Segmental Box Girder) มาใช้แทนระบบเดิมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป คือระบบคานตัวไอหล่อสำเร็จรูป (I-Girder) ร่วมกับพื้นสะพานคอนกรีตหล่อทับที่ ทั้งนี้เพื่อลดผลกระทบกับการจราจร ซึ่งมีปัญหาเป็นอย่างมากในขณะนั้น โดยได้พิจารณาข้อได้เปรียบบางประการของระบบ Precast Segmental Box Girder ดังนี้

1. มีช่วงพาดทั่วไป (Typical Span) ยาวกว่าระบบเดิม ทำให้มีจำนวนฐานรากน้อยลง ทำให้การก่อสร้างเร็วขึ้น ลดผลกระทบต่อจราจรและระบบสาธารณูปโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ใช้น้ำหนักกลางถนนเป็นแนวสายทาง

2. Precast Segmental Box Girder ที่หล่อสำเร็จจากโรงงาน ทำหน้าที่เป็นทั้งคานและพื้นสะพานในคราวเดียว ทำให้ลดกิจกรรมในพื้นที่ก่อสร้าง ลดการใช้ผิวจราจรจากการขนส่งวัสดุและการเคลื่อนย้ายเครื่องจักร

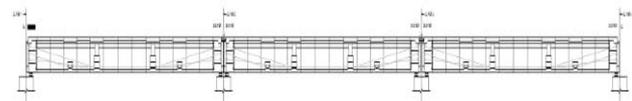
3. การก่อสร้างระบบนี้เมื่อทำการติดตั้งแล้วเสร็จในแต่ละช่วงพาด (Span) ของสะพาน สามารถใช้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักได้ทันที และสามารถใช้เป็นเส้นทางขนส่งวัสดุ อุปกรณ์ เพื่อการก่อสร้างในช่วงต่อไป ทำให้ลดการใช้ผิวจราจรจากการก่อสร้าง

จากการดำเนินงานที่ผ่านมา พบว่าการก่อสร้างด้วยระบบนี้สามารถลดผลกระทบต่อจราจรได้ และสามารถก่อสร้างได้แล้วเสร็จตามกำหนด ในปัจจุบันการก่อสร้างทางยกระดับโดยใช้ Precast Segmental Box Girder ได้แพร่หลายเป็นอย่างมากในประเทศไทย นำมาใช้ในการก่อสร้างทางยกระดับสายใหม่ๆ การก่อสร้างทางข้ามแยกต่างระดับ รวมทั้งใช้เป็นโครงสร้างยกระดับของระบบขนส่งมวลชนอีกด้วย

## 2. แนวคิดในการออกแบบ

### 2.1 รูปแบบระบบโครงสร้างสะพาน

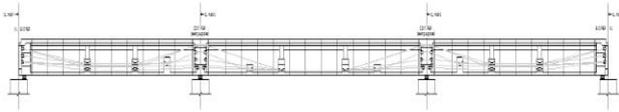
ระบบโครงสร้างสะพานแบบ Precast Segmental Box Girder ก่อสร้างโดยวิธี Built Span-By-Span ปัจจุบันนิยมออกแบบใช้งานอยู่ 3 ระบบคือ คานอย่างง่าย (Simple Beam) คานต่อเนื่องแบบยึดแน่นกับเสา (Fixed-Continuous Beam) และคานต่อเนื่องแบบอิสระ (Free-Continuous Beam) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 , 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.1 ระบบคานอย่างง่ายต่อเนื่องเฉพาะพื้น 3 ช่วงพาด



รูปที่ 2.2 ระบบคานต่อเนื่องแบบยึดแน่นกับเสา 3 ช่วงพาด



รูปที่ 2.3 ระบบคานต่อเนื่องแบบอิสระ 3 ช่วงพาด

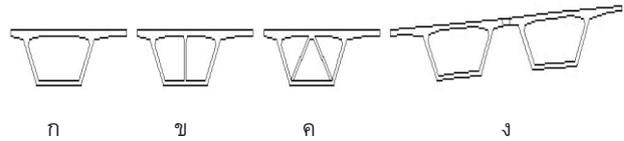
โดยข้อดีและข้อเสียของแต่ละระบบโครงสร้างสะพาน สามารถเปรียบเทียบโดยย่อได้ดังตารางที่ 2.1.1

ตารางที่ 2.1.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบโครงสร้างสะพาน

ระบบโครงสร้างสะพาน	ข้อดี	ข้อเสีย
ระบบคานอย่างง่ายต่อเนื่องเฉพาะพื้น	<ul style="list-style-type: none"> <li>• สร้างได้รวดเร็ว</li> <li>• ไม่ได้รับผลจาก Secondary Moment หรือผลจาก Creep และ Shrinkage ต่อโครงสร้างอื่น</li> <li>• ไม่มีผลกระทบ Rail Stress กรณีใช้ในการขนส่งโดยระบบราง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ใช้วัสดุก่อสร้างในปริมาณที่มากกว่า</li> <li>• ใช้ Bearing จำนวนมาก</li> </ul>
ระบบคานต่อเนื่องแบบยึดแน่นกับเสา	<ul style="list-style-type: none"> <li>• โครงสร้างสะพานขนาดเล็ก</li> <li>• ระบบโครงสร้างช่วยรับแรงในแนวราบได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ใช้เวลาก่อสร้างมากกว่า เพราะมี Wet Joint และต้องดึงลวดอัดแรงหลายชั้นตอน</li> <li>• ไม่สามารถทำต่อเนื่องได้หลายช่วงเพราะข้อจำกัดของ Rail Stress พร้อมทั้งผลของ Creep, Shrinkage และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ</li> </ul>
ระบบคานต่อเนื่องแบบอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ระบบโครงสร้างสะพานเล็กกว่า ก่อสร้างได้รวดเร็วขึ้น เพราะไม่ต้องรอการรั้งสะพานกับเสา</li> <li>• ไม่ได้รับผลจาก Secondary Moment หรือผลจาก Creep และ Shrinkage ต่อโครงสร้างอื่น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• มีข้อเสียเช่นเดียวกับระบบคานต่อเนื่องแบบยึดแน่นกับหัวเสา แต่สร้างได้รวดเร็วกว่า</li> <li>• ต้องเพิ่ม Bearing ที่จุดรองรับ</li> </ul>

## 2.2 รูปร่าง

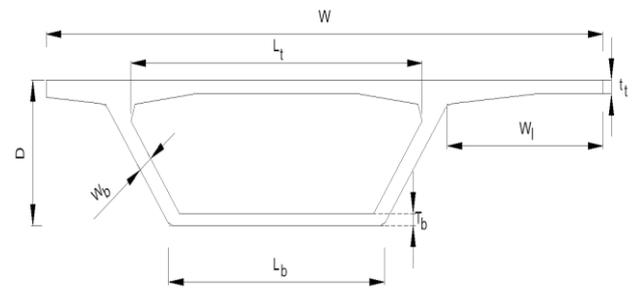
ชิ้นส่วนสะพานรูปกล่องอาจมีรูปร่างได้หลายลักษณะ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 รูปร่างคานรูปกล่องสำหรับทางวิ่ง ก)กล่องเดี่ยว ข)กล่องคู่ ค)กล่องเดี่ยวพร้อมค้ำยัน ง) กล่องเดี่ยวเชื่อมมิก

รูปร่างที่จะเลือกใช้อาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น จำนวนช่องจราจรที่จะรองรับ หรือข้อจำกัดในการออกแบบโครงสร้างส่วนล่าง เป็นต้น

## 2.3 ขนาดและมิติที่ใช้พิจารณาในการออกแบบ



รูปที่ 2.5 ขนาดและมิติของคานรูปกล่อง

Span Length (L) 30 เมตร < L < 45 เมตร (หากสั้นกว่า 30 เมตร จะไม่ประหยัด หากยาวกว่า 45 เมตร หน้าตัดจะใหญ่ไป)

$$W_{max} = 15 \text{ เมตร}$$

$$W_1 = \frac{W}{4}$$

$$t_t = \frac{L t}{30} \text{ ไม่ควรต่ำกว่า } 20 \text{ เซนติเมตร}$$

$$t_b = \frac{l b}{30} \text{ ไม่ควรต่ำกว่า } 17.5 \text{ เซนติเมตร}$$

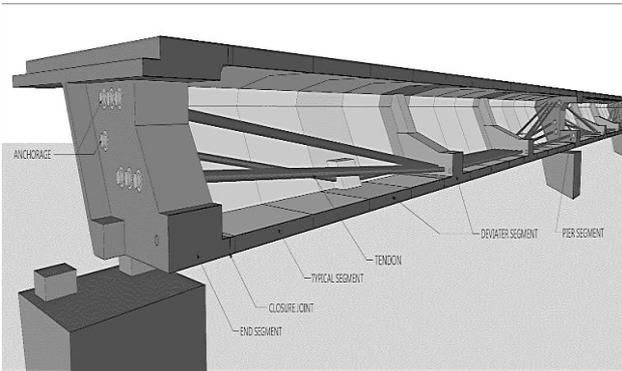
$$L_t = 4.5 - 7.5 \text{ เมตร}$$

$$D = \frac{L}{25} - \frac{L}{18} \text{ ไม่ควรต่ำกว่า } 1.8 \text{ เมตร}$$

$$\frac{L}{D} = 18 - 25$$

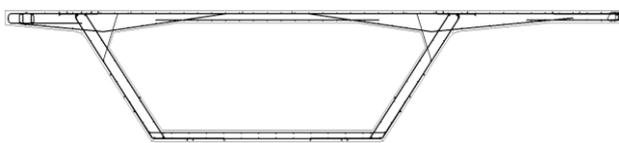
## 2.4 การรับแรงของโครงสร้างและการออกแบบ

โมเมนต์ดัดเกิดจากน้ำหนักของโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกจรที่ทำให้คานแอ่นตัว การแอ่นตัวของคานลงล่างเป็นผลจากโมเมนต์บวก จะมีค่ามากที่สุดบริเวณกลางสะพาน ในกรณีที่เป็นคานต่อเนื่องอาจเกิดโมเมนต์ลบหรือคานโก่งขึ้นบนบริเวณหัวเสา การออกแบบจะใช้ลวดอัดแรงตามยาวจัดวางในแนวทแยงกับรูปลักษณะของโมเมนต์ โดยใช้ Deviator Segment และ Pier Segment ในการปรับเปลี่ยนทิศทางและระดับของลวดอัดแรงลวดอัดแรง ที่นิยมใช้จะเป็นระบบ 7-Wire Strand ออกแบบให้รับแรงดึงประมาณ 75 - 77% ของ GUTS - Guaranteed Ultimate Strength ตัวอย่างการจัดวางลวดอัดแรงตามยาวของระบบสะพานแบบคานต่อเนื่องหลายช่วงพาด แสดงในรูปที่



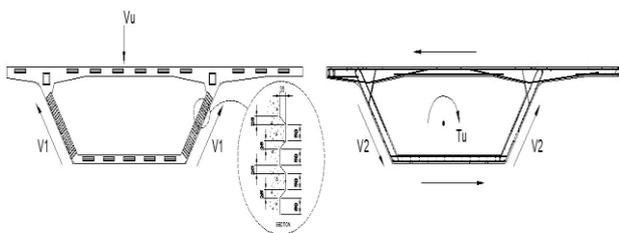
รูปที่ 2.6 การจัดวางลวดอัดแรงตามยาวของสะพานแบบต่อเนื่องหลายช่วงพาด

โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นตามแนวขวางบนพื้นของสะพานนิยมออกแบบโดยใช้ Chart of Influence Surface ทั้งพื้นภายในและพื้นยื่น ตัวอย่างการเสริมลวดอัดแรงและเหล็กรับแรงจะแสดงดังรูปที่ 2.7 หากโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นมีค่าไม่มากและมีการจัดวางระยะห่างของแผ่นเอว (Web) ได้อย่างเหมาะสม ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ลวดอัดแรงแต่อย่างใด



รูปที่ 2.7 การเสริมลวดและเหล็กรับแรงโมเมนต์ในแนวขวาง

แรงเฉือนจากน้ำหนักและแรงเฉือนจากโมเมนต์บิด แรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุก  $V_1$  จะมีค่ามากขึ้นเมื่ออยู่ใกล้เสาหรือจุดรองรับ ขณะเดียวกันโมเมนต์บิดก็ทำให้เกิดแรงเฉือน  $V_2$  ได้ โมเมนต์บิดเกิดได้ทั้งจากน้ำหนักบรรทุกทุกตัว เช่น สะพานช่วงโค้ง หรืออาจเกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกจร เช่น ในกรณีของการเดินทางด้านเดียวแบบไม่สมมาตรแรงเฉือน  $V_1$  จะถูกออกแบบให้ Shear Key และพื้นผิวเรียบตลอดแผ่นเอวทั้งสองข้างรับแรงเฉือน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเป็น 1.4 และ 0.6 ตามลำดับ ส่วนแรงเฉือน  $V_2$  จะออกแบบให้เหล็กเสริมแนวตั้งในแผ่นเอวรับแรงนี้แทน แนวคิดการรับแรงเฉือนแสดงได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แนวคิดในการออกแบบรับแรงเฉือน

### 2.5 รอยต่อระหว่างชิ้นส่วน

นิยมใช้ Epoxy เป็นวัสดุประสานระหว่างรอยต่อเพื่อป้องกันผลกระทบจากการขยายตัวของน้ำเป็นน้ำแข็ง หรือสะพานที่อยู่ในสภาพแวดล้อมของการกัดกร่อนที่รุนแรง ทั้งนี้ ในสภาพแวดล้อมปกติก็

ไม่จำเป็นต้องประสานรอยต่อด้วยวัสดุใดๆ เพื่อเพิ่มการยึดเหนี่ยว เพราะแรงเสียดทานระหว่างผิวปกติก็สามารถต้านทานแรงเฉือนได้อย่างปลอดภัย

### 3. การผลิตชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูป

การก่อสร้างสะพานชนิดชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูป เป็นเทคนิคเดียวในการสร้างสะพาน ที่แบ่งการหล่อพื้นสะพานออกเป็นชั้นย่อย ๆ หลาย ๆ ชั้นตามแนวขวาง แล้วยึดติดกันตามแนวยาวด้วยลวดอัดแรง ชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปนี้เรียกว่า Precast Segmental Box Girder หรือเรียกย่อ ๆ ว่า “Segment” Segment จะถูกหล่อในแม่พิมพ์ซึ่งเป็นแบบหล่อพิเศษเรียกว่า “Mould”

การผลิต Segment ในโรงหล่อทำให้สามารถควบคุมการผลิตได้ เช่นเดียวกับระบบโรงงาน เช่น การควบคุมเทคนิคการผลิต การควบคุมคุณภาพ ประสิทธิภาพ และการประหยัดเวลาก่อสร้างโดยรวม นอกจากนี้การที่แยกเอางานผลิต Segment ออกไปไว้นอกพื้นที่ก่อสร้างยังช่วยลดภาระที่จะต้องเทคอนกรีตออกไปจากหน้างานทำให้ลดเวลารวมในการก่อสร้างอีกด้วย

โรงหล่อ Segment ประกอบด้วย พื้นที่จัดตั้ง โรงผลิตคอนกรีต พื้นที่สำหรับผูกโครงเหล็ก แบบหล่อ หอ Survey พื้นที่กองเก็บและพื้นที่สำหรับจัดเก็บอุปกรณ์การทำงานต่าง ๆ

### 3.1 วิธีการหล่อชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูป (Precast Segmental Box Girder)

การหล่อ Precast Segmental Box Girder มีด้วยกันสองวิธี คือ การหล่อแบบช่วงยาว (Long-Line Casting) และการหล่อแบบช่วงสั้น (Short-line Casting หรือ Short Cell) ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ใช้ทำโรงหล่อและรูปร่างของสะพานช่วงนั้น ๆ

#### การหล่อแบบช่วงยาว

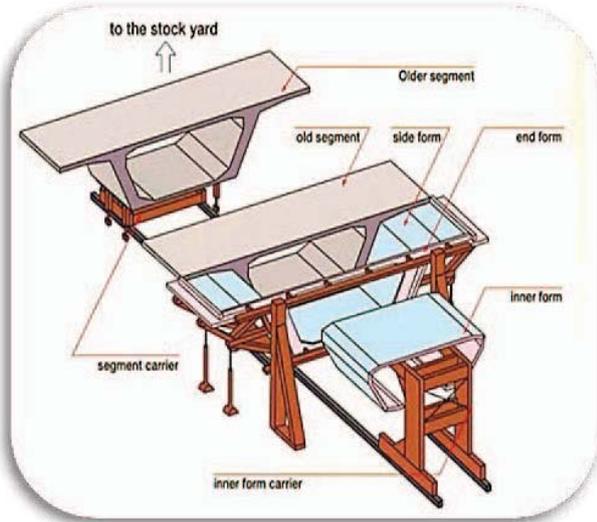
Precast Segmental Box Girder ทั้งหมดจะถูกหล่อบนแท่นรอง (Soffit) ที่มีขนาดเต็มเท่ากับความยาวของช่วงพาดสะพาน การควบคุมรูปทรงและขนาด (Geometry Control) นั้นแทบจะเรียกได้ว่าได้ทำสำเร็จไปแล้วพร้อมๆ กับการสร้าง Soffit ทำให้การควบคุมทางด้านเรขาคณิตระหว่างการผลิต Segment เป็นเรื่องง่ายมากๆ การสร้าง Soffit ขนาดเต็มสำหรับวิธีการหล่อแบบช่วงยาวนั้น ต้องใช้พื้นที่ยาวมากและ Soffit อาจจะสามารถนำมาใช้เพียงแค่ครั้งเดียวเพราะยากที่จะใช้รองรับรูปแบบที่หลากหลายของช่วงพาดที่แตกต่างกันออกไป

#### การหล่อแบบช่วงสั้น

Precast Segmental Box Girder จะถูกหล่อในแบบหล่อ (Mould) ซึ่งตั้งอยู่กับที่แล้วนำ Precast Segmental Box Girder ตัวที่หล่อเสร็จก่อนหน้ามาประกบใช้เป็นแบบหล่อ Precast Segmental Box Girder ตัวต่อไป โดยจะทาน้ำยาแยกรอยต่อ (Bond Breaker) ที่ผิวหน้าของรอยต่อ Precast Segmental Box Girder ที่นำมาประกบ (Match Cast) เพื่อให้การแยกแบบเมื่อหล่อเสร็จทำได้โดยง่าย การหล่อด้วยวิธีนี้จะทำให้รอยต่อของ Precast Segmental Box Girder สามารถประกบกันได้อย่างสมบูรณ์และ

สามารถจัดวางในโครงสร้างสะพานตามตำแหน่งที่ต้องการได้พอดี เช่นเดียวกับเวลาตั้งวางที่ Mould

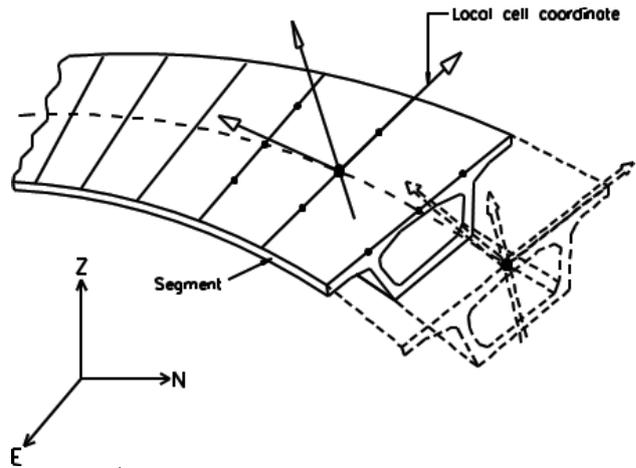
ต่อไปนี้เป็นวงจรการผลิตตามปกติของการหล่อแบบ Short-Cell โดยวิธีใช้ตัวประกบ (Match Cast หรือ MC) ตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การหล่อแบบช่วงสั้น

- หลังจากการเทคอนกรีตหล่อ Segment แล้วเสร็จประมาณ 8 - 12 ชั่วโมง เจ้าหน้าที่สำรวจ (Surveyor) จะไปตรวจสอบตำแหน่งต่างๆ ของ Segment เป็นอันดับแรก
- เมื่อคอนกรีตของ Segment ที่เพิ่งหล่อเสร็จมีความแข็งแรงถึงระดับที่ต้องการแล้ว ก็จะลดระดับของแบบด้านนอกลงก่อน ต่อจากนั้นล้มแบบ Core-form ซึ่งอยู่ช่วงกลางของ Segment แล้วจึงถอดถอนแบบ Core-form ออก จากนั้นก็สามารถแยก Segment ที่หล่อใหม่ออกจาก Match Cast
- หลังจากนั้น Segment ที่ใช้เป็น Match Cast จะถูกยกออกไปจัดเก็บที่พื้นที่จัดกอง ส่วน Soffit ที่ใช้วางตัว Match Cast จะวางพักเอาไว้ชั่วคราว
- Segment ที่หล่อเสร็จใหม่จะถูกย้ายมาอยู่ในตำแหน่งของ Match Cast แล้วปรับระดับและตำแหน่งอย่างระมัดระวังตามค่า Coordinate ที่คำนวณไว้
- แบบ Mould ขึ้นที่อยู่ด้านนอกจะถูกดันขึ้นเพื่อปิดช่องระหว่าง Segment ที่ใช้เป็น Match Cast และ Bulkhead (แบบหล่อด้านที่เป็น Shear Key)
- โครงเหล็กผูก (Rebar Cage) สำหรับ Segment ตัวใหม่ ซึ่งได้ผูกเตรียมไว้ก่อนที่ Jig (โครงเหล็กสำหรับผูกเหล็กให้ได้ขนาดเดียวกับแบบที่จะหล่อ) จะถูกยกมาไว้ในแบบหล่อ เสร็จแล้วก็ปิด Core-form แล้วปรับตำแหน่งให้เข้าที่ จากนั้นก็จะดำเนินการตรวจสอบตำแหน่งต่าง ๆ ของ Match Cast เป็นครั้งสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต

### 3.2 การควบคุมรูปร่างทางเรขาคณิตของ Precast Segmental Box Girder ในการหล่อแบบช่วงสั้น (Short Cell)



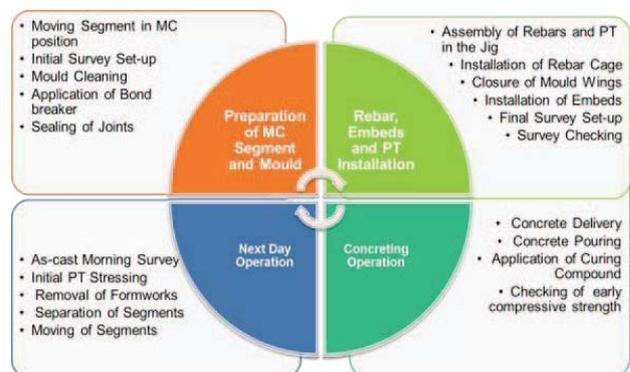
รูปที่ 3.2 Three Dimension Coordinate System

จุดมุ่งหมายของการควบคุมค่าระดับและตำแหน่งของการหล่อ เพื่อให้ Segment มีรูปร่างทางด้านเรขาคณิตที่ถูกต้อง (Geometry Control) เมื่อนำไปติดตั้งจะอยู่ในตำแหน่งและระดับที่ถูกต้องในทุกมิติของสะพานตามที่กำหนดในแบบก่อสร้าง

สิ่งสำคัญของการควบคุมค่าระดับและตำแหน่งของการหล่อ คือการปรับค่าระดับและตำแหน่งของ Segment ที่นำมาทำเป็น Match Cast ส่วน Segment ตัวที่ใหม่จะถูกหล่อในแบบหล่อเดิมจะอยู่นิ่งกับที่เสมอและส่วนใหญ่จะอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับ Bulkhead หากจำเป็นจะทำการปรับแบบหล่อ Segment ที่จะหล่อใหม่เพียงเล็กน้อยเพื่อให้เข้ากับ Bulkhead และ Match Cast Segment เพื่อให้การหล่อ Segment ของแต่ละช่วงพาด (Span) มีค่า Coordinates ทั้ง 3 มิติถูกต้องตามการคำนวณด้วยสูตรการหาค่า Coordinates แบบ Three Dimensional Approach ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

### 3.3 วงจรการผลิตชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูป (Precast Segmental Box Girder Production Cycle)

สำหรับ Precast Segmental Box Girder ชนิดทั่วไป (Typical Segment) ปกติจะผลิตได้ 1 ชิ้นต่อวันต่อ Mould งานประจำวันที่ทำกันในโรงหล่อโดยทั่วไปจะเป็นวัฏจักรดังนี้:



รูปที่ 3.3 วัฏจักรการผลิต Segment

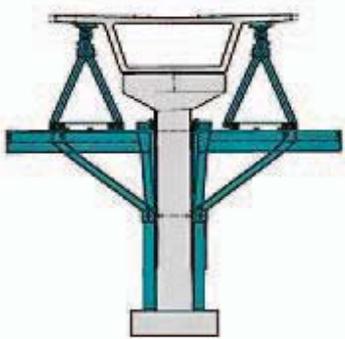
- ย้าย Segment ตัวที่หล่อแล้วไปอยู่ในตำแหน่ง Match Cast ปรับตำแหน่งให้ได้ตามที่คำนวณไว้

- ทำความสะอาดแบบหล่อ (Mould Cleaning)
- ทาว์สตุแยกรอยต่อ (Bond-breaking Material) ที่ผิวหน้าของ Match Cast Segment เพื่อให้สามารถแยก Segment ที่หล่อใหม่กับตัว Match Cast ออกจากกันได้
- อุดรอยต่อระหว่าง Mould กับชิ้นส่วน Match Cast ไม่ให้มีรอยร้าว
- วาง Rebar Cage ที่เตรียมไว้แล้ว ลงใน Mould ติดตั้งอุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งไว้ให้เรียบร้อย แล้วปิด Mould
- เทคอนกรีต
- การดึงลวดอัดแรงขั้นแรก (Initial stressing) เมื่อคอนกรีตที่หล่อแล้ว มีกำลังอัดไม่น้อยกว่า  $18 \text{ N/mm}^2$  ก็จะทำให้การดึงลวดอัดแรงตามแนวขวาง (Transverse Tendon) ที่ 25 % ของกำลังดึงที่กำหนด[1]
- ถอดแบบ
- แยก Segment ออกจากกัน
- ย้ายตัว Match Cast ไปที่กองเก็บ
- เลื่อน Segment ตัวที่หล่อใหม่ เข้าอยู่ในตำแหน่ง Match Cast เพื่อเตรียมการหล่อ Segment ตัวต่อไป
- เมื่อคอนกรีตของ Segment ที่หล่อเสร็จแล้วมีกำลังอัดตามที่กำหนดก็จะทำการดึงลวดอัดแรงขั้นสุดท้าย ทำการ Grout ท่อร้อยลวดอัดแรง ตรวจสอบความเรียบร้อย พร้อมทั้งจะขนส่งไปติดตั้งต่อไป

#### 4. การติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูป

##### 4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูป

เครื่องมือการติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปที่นิยมใช้ใน ประเทศไทย มี 2 ประเภทคือ Under-slung Gantry และ Overhead Gantry



รูปที่ 4.1 Under-slung Gantry

##### Under-slung Gantry

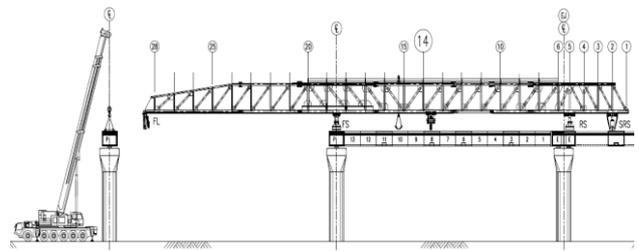
ประกอบด้วยโครงสร้างคานเหล็กจำนวน 2 ชุด มีโครงสร้างค้ำยัน (Falsework) จากฐานรากหรือเสาของโครงสร้างสะพาน โครงสร้างคานเหล็ก ทั้ง 2 ชุดจะติดตั้งบริเวณด้านซ้ายและขวาของตำแหน่งที่จะทำการติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูป การติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปจะวางเรียงไว้ด้านบนโครงสร้างคานเหล็กทั้ง 2 ชุด ตามรูปที่ 4.1

##### Overhead Gantry

ประกอบด้วยโครงสร้างคานเหล็กจำนวน 1 ชุด มีโครงสร้างค้ำยัน (Falsework) ด้านท้ายคานจากพื้นคานรูปกล่องสำเร็จรูปของช่วงพาดที่ติดตั้งแล้วเสร็จก่อนหน้า และด้านหน้าคานจากบนหัวเสาของช่วงพาดที่จะทำการติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูป การติดตั้งคานรูปกล่องสำเร็จรูปจะแขวนเรียงอยู่ด้านใต้โครงสร้างคานเหล็กตามรูปที่ 4.2

เครื่องมือการติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปประเภท Overhead Gantry มีกิจกรรมการก่อสร้างที่ใช้ผิวจราจรน้อยกว่าประเภท Under-slung Gantry และไม่มีผลกระทบต่อจราจรจากการต้องจำกัดความสูง (Height Clearance) ของยานพาหนะบนผิวจราจรในขณะที่ก่อสร้าง บทความนี้จะนำเสนอเครื่องมือติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปเฉพาะประเภท Overhead Gantry เท่านั้น

การติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปสามารถดำเนินการได้โดยใช้ Overhead Gantry ซึ่งเป็นโครงสร้างคานเหล็กขนาดใหญ่ มีความยาวอย่างน้อยประมาณ 2 ช่วงพาดสะพานที่จะทำการก่อสร้างตามรูปที่ 4.2 โดยมีส่วนประกอบหลัก[2]ดังนี้คือ



รูปที่ 4.2 Overhead Gantry

##### Front Leg (FL) หรือ Temporary Support

Front Leg จะถูกติดตั้งอยู่ตรงจุดปลายสุดด้านหน้าของ Gantry ทำหน้าที่เป็นค้ำยันชั่วคราวสำหรับการเลื่อน Gantry ไปช่วงพาดถัดไป หลังจากติดตั้งคานรูปกล่องสำเร็จรูปของช่วงพาดที่ผ่านมาเรียบร้อยแล้ว

##### Front Support (FS) และ Rear Support (RS)

เป็นโครงสร้างเหล็กเพื่อรับน้ำหนักด้านหน้าและด้านหลังของ Gantry สามารถเคลื่อนย้ายไปข้างหน้าหรือถอยไปด้านหลังของตัว Gantry ได้โดยระบบ Winch ซึ่งประกอบอยู่ใน Gantry โดยจะทำหน้าที่ในการรับน้ำหนักโครง Gantry ในขณะที่เลื่อน Gantry และในขณะที่แขวนชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูป ซึ่ง Gantry สามารถเคลื่อนไปข้างหน้าหรือเลื่อนไปด้านหลัง (ซ้ายหรือขวา) ได้โดยใช้ระบบไฮดรอลิกที่ประกอบอยู่บน Front Support และ Rear support นี้

##### Special Rear Support (SRS)

เป็นโครงสร้างเหล็กใช้ในการรับน้ำหนักของ Gantry เช่นเดียวกับ Front Support และ Rear Support จะถูกติดตั้งอยู่ที่ปลายหลังสุดของ Gantry โดยจะทำหน้าที่รับน้ำหนัก Gantry เป็นการชั่วคราวสำหรับการย้าย Rear Support ไปตามตำแหน่งที่กำหนดระหว่างการเคลื่อนตัว Gantry

### Trolley

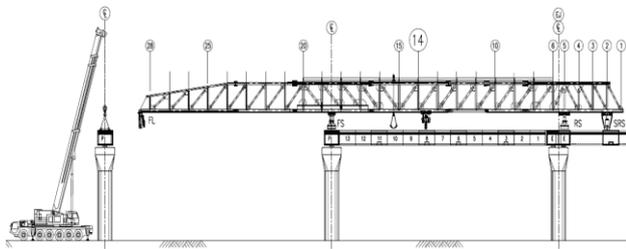
อุปกรณ์นี้ติดตั้งอยู่ที่ห้องของ Gantry ทำหน้าที่ในการยกชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปขึ้นลงหรือเคลื่อนย้ายเดินหน้าหรือถอยหลัง เพื่อทำการติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปตามตำแหน่งที่กำหนด

### Stressing Platform

เป็น Platform (นั่งร้าน) ชั่วคราวติดตั้งอยู่ด้านหน้า Front Support โดยนั่งร้านนี้จะใช้เป็นพื้นที่ในการร้อยและดึงลวดอัดแรง หลังจากทำการติดตั้งและจัดตำแหน่งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปเรียบร้อยแล้ว

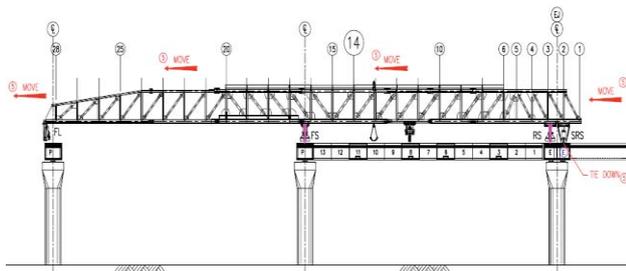
### 4.2 การเคลื่อนย้าย Overhead Gantry เข้าตำแหน่งเพื่อติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูป

ขั้นตอนในการเคลื่อนย้าย Overhead Gantry จากช่วงพาดที่ติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปเสร็จเรียบร้อยแล้วไปยังช่วงพาดถัดไป มีขั้นตอนโดยย่อดังต่อไปนี้



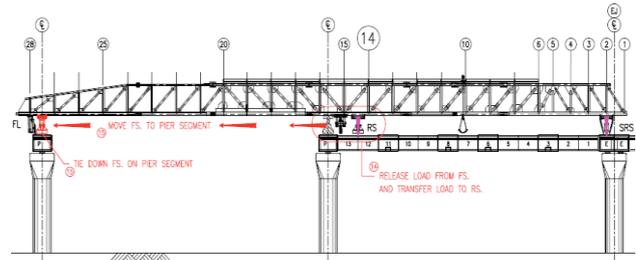
รูปที่ 4.3

1. ยกคานรูปกล่องสำเร็จรูปชิ้นแรก (Pier Segment) ขึ้นติดตั้งบนหัวเสาต้นถัดไปโดยใช้ Mobile Crane ทำการปรับระดับและแนวให้ถูกต้องตามแบบ และยึดคานรูปกล่องสำเร็จรูปให้ติดกับหัวเสาตามการออกแบบ ตำแหน่ง Overhead Gantry และอุปกรณ์หลักจะอยู่ในตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 4.3



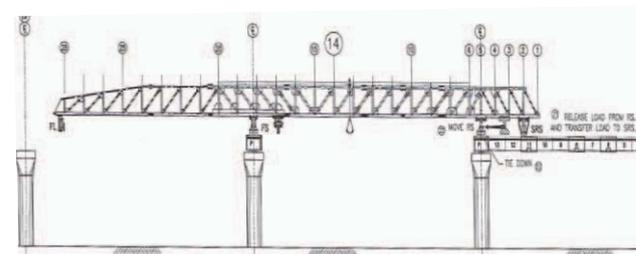
รูปที่ 4.4

2. ทำการเลื่อน Overhead Gantry เพื่อติดตั้ง Front leg บนคานรูปกล่องสำเร็จรูปชิ้นแรกของเสาต้นถัดไปตามรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.5

3. ทำการย้าย Front Support ไปติดตั้งบนคานรูปกล่องสำเร็จรูปชิ้นแรก ย้าย Rear Support และ Special Rear Support มาติดตั้งในตำแหน่งที่กำหนดตามรูปที่ 4.5 โดยต้องรักษาความมั่นคงและความสมดุลย์ของ Overhead Gantry ตลอดการเคลื่อนย้าย Supports



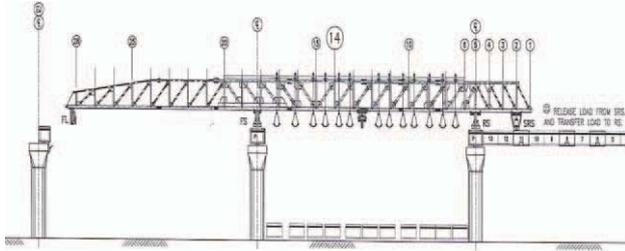
รูปที่ 4.6

4. ทำการเลื่อน Overhead Gantry เข้าตำแหน่งเพื่อทำการติดตั้ง ชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปของช่วงพาดถัดไปตามรูปที่ 4.6 ทำการตรวจสอบ Support และจุดยึดต่างๆ ปรับระดับ Front Support และ Rear Support ให้มีระดับใกล้เคียงกันมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับ Horizontal และ Vertical Alignment ของสะพานในช่วงพาดนั้นๆ

ในทุกขั้นตอนการเคลื่อนย้าย Overhead Gantry สิ่งที่ต้องคำนึงถึงตลอดเวลาคือความมั่นคงและความสมดุลย์ขององค์ประกอบในภาพรวม ตำแหน่งของอุปกรณ์หลักทุกอุปกรณ์มีผลต่อความมั่นคงและความสมดุลย์ ซึ่งจำเป็นต้องมีแผนการดำเนินงานและการคำนวณประกอบในทุกขั้นตอน แรงกระทำต่อชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปในทุกขั้นตอนการเคลื่อนย้าย Overhead Gantry จะต้องนำมาใช้ประกอบในการออกแบบคานรูปกล่องสำเร็จรูปด้วย

### 4.3 การติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปและการดึงลวดอัดแรง

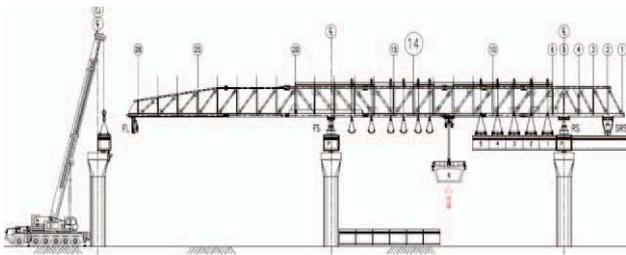
ขั้นตอนในการแขวนชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปและการดึงลวดอัดแรง มีลำดับขั้นตอนในการทำงานโดยย่อดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.7

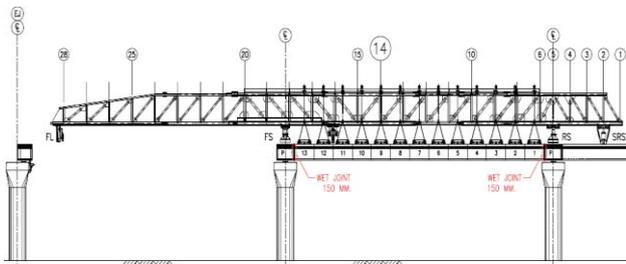
1. ทำการขนส่งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปจากโรงงานผลิตมายังจุดที่จะทำการติดตั้งโดยรถ Trailer การขนส่งจะต้องขนส่งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปเรียงตามลำดับหมายเลขของลำดับการติดตั้งก่อนหลัง ชิ้นอยู่กับตำแหน่งที่จะยกชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปและสภาพหน้างาน ตามรูปที่ 4.7

2. ในกรณีที่มีพื้นที่ใต้ท้อง Overhead Gantry เพียงพอ ก็จะสามารถขนส่งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปมาวางเรียงไว้ใต้ Overhead Gantry ในขณะที่ดำเนินการเคลื่อน Overhead Gantry ได้ ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาในการขนส่งและขนขึ้นชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปได้มาก



รูปที่ 4.8

3. ยกชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปขึ้นแขวนที่ละชั้นโดยใช้ Trolley ซึ่งการยกขึ้นแขวนจะต้องเรียงลำดับตามหมายเลขของชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปที่ถูกกำหนดมาจากโรงงานผลิต โดยชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปแต่ละชั้นจะถูกแขวนไว้ด้วยลวดสลิงขนาดใหญ่ที่ยึดติดกับแท่งเหล็กรับแรงดึงสูงที่แขวนไว้กับ Bracket ด้านข้างของ Overhead Gantry อีกทีหนึ่ง ตามรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.9

4. เมื่อยกชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปขึ้นแขวนครบทุกชั้นแล้ว คานรูปกล่องสำเร็จรูปแต่ละชั้นจะถูกจัดแนวและระดับตามค่าพิกัดของช่วงพาดนั้นๆ ตามที่ผลิตจริงจากโรงงานผลิต

5. ในขณะที่จัดแนวและระดับนั้น คานรูปกล่องสำเร็จรูปแต่ละชั้นจะถูกยึดติดกันชั่วคราวด้วยแท่งเหล็กรับแรงดึงสูง

6. ในกรณีที่ช่วงพาดนั้นๆ ถูกออกแบบให้เป็นระบบคานต่อเนื่องแบบยึดแน่นกับเสาหรือแบบอิสระ การติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปจะถูกกำหนดให้มีช่องว่างระหว่าง Pier Segment และ Typical Segment เรียกว่า Wet Joint ทั้งด้านหน้าและด้านหลังของช่วงพาด ซึ่งเมื่อเทคอนกรีต Wet Joint แล้วจะทำให้ช่วงพาดที่กำลังติดตั้งและช่วงพาดที่ติดตั้งชิ้นส่วนแล้วเสร็จก่อนหน้ามีความยาวต่อเนื่องกันตามรูปที่ 4.9

7. เมื่อจัดแนวและระดับของชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการติดตั้งท่อร้อยลวดอัดแรงและทำการร้อยลวดอัดแรงตามขนาดและจำนวนที่กำหนดไว้ตามแบบก่อสร้าง จากนั้นจะทำการดึงลวดอัดแรงทีละคู่ตามลำดับหมายเลขด้วยแรงดึงที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้

8. เมื่อทำการดึงลวดอัดแรงเสร็จเรียบร้อยแล้วทั้งหมดแล้ว จะลดระดับ Overhead Gantry เพื่อปลดลวดสลิงขนาดใหญ่ที่ใช้ขนขึ้นชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปเสร็จออก ทำการตรวจความเรียบร้อยต่างๆ แล้วจึงเลื่อน Overhead Gantry ไปช่วงพาดถัดไป

9. ช่วงพาดของสะพานที่ทำการติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปแล้วเสร็จและผ่านการดึงลวดอัดแรงครบถ้วนตามที่กำหนด จะทำการอัดฉีดน้ำปูนตามส่วนผสมที่กำหนด เข้าในท่อร้อยลวดอัดแรงให้เต็ม โดยต้องไม่ให้มีฟองอากาศเหลืออยู่ในท่อเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการผุกร่อนของลวดอัดแรง

## 5. การบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาเป็นกิจกรรมที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง ในการดูแลรักษาให้โครงสร้างสะพานมีความมั่นคง แข็งแรงและปลอดภัยตลอดอายุการใช้งาน จึงต้องมีการจัดทำแผนการบำรุงรักษาให้ครอบคลุม การบำรุงรักษาตามปกติ การบำรุงรักษาเชิงป้องกันและการบำรุงรักษาแบบฉุกเฉิน แผนและวิธีการบำรุงรักษาดังกล่าวจำเป็นต้องนำมาประกอบการพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างด้วย เพื่อให้การบำรุงรักษาสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### เอกสารอ้างอิง

- [1] คู่มือการผลิตชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปของบริษัท ช. การช่าง จำกัด (มหาชน)
- [2] คู่มือการติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องสำเร็จรูปสำหรับสะพานยกระดับของบริษัท ช. การช่าง จำกัด (มหาชน)