

การศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานรถไฟฟ้ามะเมื่อมีการก่อสร้าง
แบบคานยื่นสมดุล

The studying of behavior of sky train railway constructed
base on balance cantilever method



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

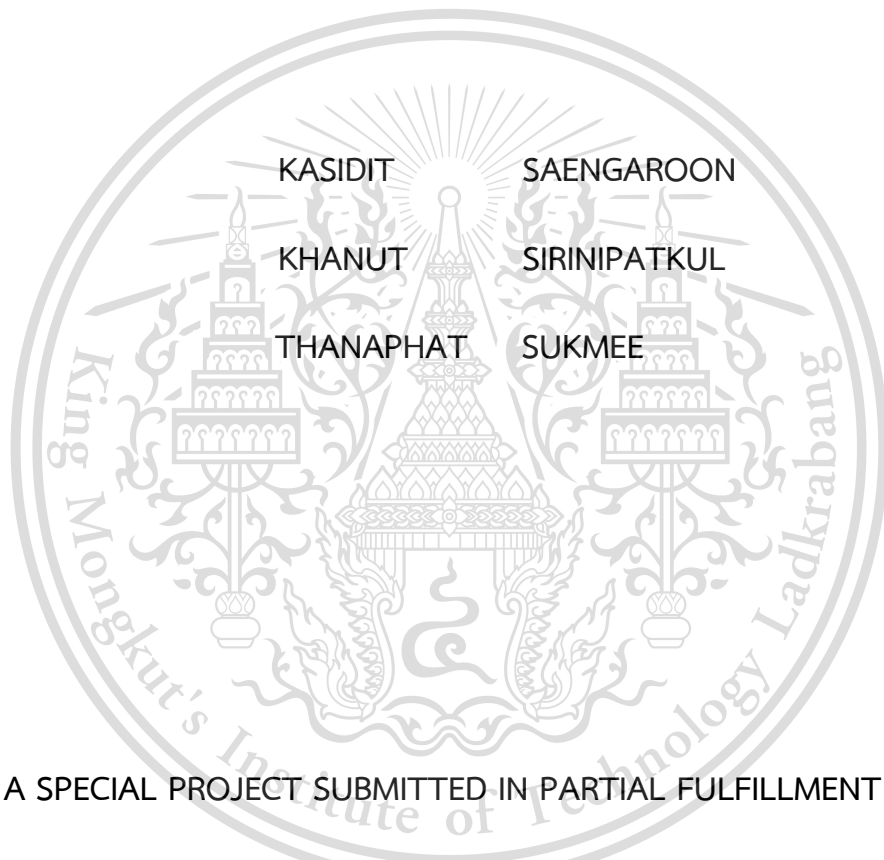
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2563 นี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

The studying of behavior of sky train railway constructed
base on balance cantilever method



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ACADEMIC YEAR 2020** มอนอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานรถไฟฟ้ามะเมื่อมีการก่อสร้างแบบคานยื่นสมดุล

The studying of behavior of sky train railway constructed base on balance cantilever method

นักศึกษา กษิตติ์ แสงอรุณ รหัสประจำตัว 60010041
 คณุตม์ สิรินิพัทธ์กุล รหัสประจำตัว 60010115
 จณภัทร สุขมี รหัสประจำตัว 60010398

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อัญญาวิทย์ สุจริตพงศ์

| คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ | ลายมือชื่อ |
|------------------------------|------------|
| ผศ.ดร. อัญญาวิทย์ สุจริตพงศ์ | |
| ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร | |
| รศ. สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์ | |
| ผศ.ดร.อำพน จรัสรุ่งเกียรติ | |
| อ. ทรงกลด แซ่อึ้ง | |
| ดร. ณัฐดนัย สิ้นสมุทรมงคล | |

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 26 พฤษภาคม 2564 เวลา 16.00 – 16.40 น.

สถานที่สอบ ออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 31 พ.ค. 2564

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานรถไฟฟ้ามะเมื่อมีการก่อสร้างแบบคานยื่น สมดุล

| | | |
|------------|---------------|-----------------------|
| นาย กษิตศ | แสงอรุณ | รหัสนักศึกษา 60010041 |
| นาย คณุตม์ | สิรินพัทธ์กุล | รหัสนักศึกษา 60010115 |
| นาย ธนภัทร | สุขมี | รหัสนักศึกษา 60010398 |

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อัฐวิทย์ สุจริตพงศ์

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีโครงการก่อสร้างระบบขนส่งสาธารณะรถไฟฟ้ามะเกิดขึ้นมาเป็นระยะ ๆ ซึ่งในโครงการเหล่านี้ก็จะมีโครงสร้างสะพานที่น่าสนใจเพราะมีประโยชน์อย่างมาก คือโครงสร้างสะพานรถไฟฟ้ามะเมื่อมีการก่อสร้างแบบคานยื่นสมดุล (Balance Cantilever) ที่ในปัจจุบันมีการนำมาออกแบบและใช้งานกันอย่างแพร่หลายสำหรับการก่อสร้างสะพาน โดยโครงสร้างจะใช้ในระหว่างการก่อสร้างที่มีช่วงยาว ไม่ต้องการนั่งร้านค้ำยัน สามารถก่อสร้างได้หลาย ๆ ช่วงพร้อมกัน เช่น ในช่วงที่มีการก่อสร้างสะพานข้ามแม่น้ำ สะพานข้ามถนนที่มีการจราจรหนาแน่น เป็นต้น โดยโครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อการวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้าง Balance Cantilever Bridge ในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง โดยจะแบ่งศึกษาเป็นในช่วงของการสร้างก่อนเสร็จวิเคราะห์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรและน้ำหนักบรรทุกตายตัว ระหว่างการก่อสร้าง และในช่วงการสร้างเสร็จแล้ววิเคราะห์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของรถ BTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

The studying of behavior of sky train railway constructed base on balance cantilever method

Mr. KASIDIT SAENGAROON Student ID. 60010041

Mr. KHANUT SIRINIPATKUL Student ID. 600100115

Mr. THANAPHAT SUKMEE Student ID. 60010398

Advisor: Asst. Prof. Dr. Atavit Sujaritpong

Academic Year 2020

ABSTRACT

Currently, there are periodic projects for the construction of public transportation and mass rapid transit systems, and in these projects, there are interesting bridge structures because of their great benefits. It is the structure of the electric train bridge when the construction of the Balance Cantilever, which is currently being designed and used widely for the construction of the bridge. The structure is used during long construction periods. Do not want to support scaffolding Able to construct several phases at the same time, such as during the construction of a bridge over a river. The bridge over the road with heavy traffic, etc. This project is prepared to analyze the behavior of the Balanced Cantilever Bridge structure in each construction process. The study will be divided into the period of pre-construction analysis due to the load and fixed weight. During construction and during the construction period, it was analyzed due to the weight of BTS cars.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.อภิวุฒิ สุจริตพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ให้ความช่วยเหลือ แก้ไขปัญหา ให้ความรู้ใหม่ๆ ตลอดจนมีความเอาใจใส่จนสำเร็จได้ด้วยดี พวกเราคณะผู้จัดทำตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ทั่วไป ประสบการณ์ ความรู้ด้านวิชาการ และการนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน เพื่อเป็นพื้นฐานที่ทำให้เกิดปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ได้ ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการสอบปริญญาานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ คุณวริยส ธิรตุลย์กุล และ คุณภูมิเกียรติ สว่างวงศ์ ที่เสียสละเวลามาให้คำปรึกษาแนะแนวทางในทุกๆเรื่อง ไม่ว่าจะเป็ความรู้ทั่วไป การออกแบบสะพาน รวมไปถึงการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำปริญญาานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือและแก้ไขปัญหาในการทำปริญญาานิพนธ์

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งเป็นผู้ให้ความรัก และคอยสนับสนุนคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

กชิตติ์ แสงอรุณ

คณุตม์ สิรินิพัทธ์กุล

ธนภัทร สุขมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อ..... | 1 |
| ABSTRACT..... | 2 |
| กิตติกรรมประกาศ | 3 |
| บทที่ 1..... | 14 |
| บทนำ..... | 14 |
| 1.1 ความเป็นมา | 14 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 14 |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย..... | 15 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 16 |
| 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... | 16 |
| บทที่ 2..... | 17 |
| วรรณกรรมปริทัศน์ | 17 |
| 2.1 สะพานโครงสร้างคานยื่น (Cantilever Bridge)..... | 17 |
| 2.1.1 คำจำกัดความของ Cantilever Bridge..... | 17 |
| 2.2 สะพานโครงสร้างคานยื่นสมดุล (Balanced Cantilever Bridge)..... | 18 |
| 2.2.1 คำจำกัดความของ Balanced Cantilever Bridge..... | 18 |
| 2.3 การก่อสร้างสะพานแบบคานยื่นสมดุล (Balanced Cantilever Method)..... | 18 |
| 2.3.1 ประวัติ Balanced Cantilever | 18 |
| 2.3.2 คำจำกัดความและข้อดี..... | 19 |
| 2.3.3 หลักการและแนวคิด | 19 |
| 2.3.4 วิธีการก่อสร้าง Balanced Cantilever ตามลักษณะการยื่นของโครงสร้าง..... | 20 |

เอกสารนี้เป็น 2.3.4 วิธีการก่อสร้าง Balanced Cantilever ตามลักษณะการยื่นของโครงสร้าง.....
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| | | |
|---------|---|----|
| 2.3.5 | วิธีการก่อสร้าง Balanced Cantilever ตามลักษณะของการสร้างชิ้นส่วนคานคอนกรีตอัดแรง. | 22 |
| 2.4 | ทฤษฎีคอนกรีตอัดแรง..... | 24 |
| 2.4.1 | ประเภทของคอนกรีตอัดแรง..... | 24 |
| 2.4.2 | หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีต..... | 24 |
| 2.4.2.1 | การวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตขณะถ่ายแรง (Transfer Stage)..... | 25 |
| 2.4.2.2 | การวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตขณะรับน้ำหนักบรรทุก (working)..... | 25 |
| 2.4.3 | ค่าโมเมนต์ที่ทำให้คอนกรีตเริ่มแตกร้าว (Cracking Moment)..... | 25 |
| 2.4.4 | การออกแบบหน้าตัดสำหรับคอนกรีตอัดแรง (Design of section)..... | 25 |
| 2.5 | ทฤษฎีลวดอัดแรง..... | 26 |
| 2.5.1 | การสูญเสียแรงที่เกิดขึ้นทันทีทันใด (Immediate Loss)..... | 26 |
| 2.5.1.1 | การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากความฝืด (Friction Loss, FR)..... | 26 |
| 2.5.1.2 | การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการเข้าที่ของสมอยึด (Anchorage Loss, ANC)..... | 28 |
| 2.5.1.3 | การสูญเสียแรงดึงจากการหดตัวของอิลาสติค (Elastic Shortening Loss, ES)..... | 28 |
| 2.5.2 | การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นตามเวลา (Time dependent Loss)..... | 29 |
| 2.5.2.1 | การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคืบของคอนกรีต (Creep Loss, CR)..... | 29 |
| 2.5.2.2 | การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต (Shrinkage Loss, SH)..... | 31 |
| 2.5.2.3 | การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคลายแรงดึงของลวดอัดแรง (Steel Relaxation Loss, RE)..... | 33 |
| 2.6 | ลักษณะของสะพานรถไฟฟ้่าที่ก่อสร้างโดยวิธีคานยื่นสมดุลที่นำมาศึกษา..... | 34 |
| 2.6.1 | คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในสะพานรถไฟฟ้่าคานยื่นสมดุลที่นำมาศึกษา..... | 39 |
| 2.6.1.1 | คุณสมบัติของคอนกรีต..... | 39 |
| 2.6.1.2 | คุณสมบัติของลวดอัดแรง..... | 39 |
| 2.6.1.3 | คุณสมบัติของเหล็กเสริม..... | 39 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับกรณี่ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| | |
|---|----|
| วิธีดำเนินการ..... | 40 |
| 3.1 ศึกษาทำความเข้าใจโครงสร้างจากแบบ | 40 |
| 3.1.1 มาตรฐานการออกแบบ (Design Standard) | 40 |
| 3.1.2 วิธีการออกแบบ (Design Methodology) ของ ASSTHO LRFD | 40 |
| 3.1.2.1 การออกแบบที่สภาวะสุดขีด (Limit State) ของ AASHTO LRFD..... | 40 |
| 3.1.2.2 การรวมแรง (Load Combination)..... | 41 |
| 3.2 จำลองโครงสร้างสะพานจากแบบโดยใช้โปรแกรม Midas Civil..... | 42 |
| 3.2.1 กำหนดหน่วยที่จะใช้ให้ตรงตามที่ต้องการ | 42 |
| 3.2.2 กำหนดคุณสมบัติของคอนกรีตและTendonที่จะใช้ออกแบบ..... | 43 |
| 3.2.3 กำหนดขนาดของ Pier..... | 45 |
| 3.2.4 กำหนดคุณสมบัติและขนาดรูปร่าง Box girder ของ Span และ Support..... | 46 |
| 3.2.5 สร้างหน้าตัดโดยใช้คำสั่ง Tapered..... | 48 |
| 3.2.6 กำหนดตำแหน่งของ node เพียงครั้งเดียวของโมเดลทั้งหมด | 49 |
| 3.2.7 สร้าง node อีกครั้งหนึ่งของโมเดล..... | 52 |
| 3.2.8 ทำการจัดกลุ่มของ Section..... | 53 |
| 3.2.9 ทำการแปลง Section และกำหนด Polynomial..... | 54 |
| 3.3 สร้างและกำหนด Structure Group..... | 56 |
| 3.3.1 เพิ่ม Structure Group..... | 56 |
| 3.3.2 กำหนด element และ node ให้ Structure Group ที่สร้างขึ้นมา | 57 |
| 3.4 สร้าง Boundary Groups และกำหนด Support | 58 |
| 3.4.1 เพิ่ม Boundary Groups | 58 |
| 3.5 Assign Load Group..... | 61 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| | |
|--|----|
| 3.6.1 สร้าง Construction Stages..... | 63 |
| 3.6.2 Construction Stage Arrangement | 64 |
| 3.7 Load Input..... | 65 |
| 3.7.1 Self-weight of Structure | 65 |
| 3.7.2 Form traveler และ Wet concrete | 66 |
| 3.7.3 Prestress | 67 |
| 3.7.4 Time Load..... | 67 |
| 3.7.5 Superimposed dead load..... | 68 |
| 3.8 กำหนดลวดอัดแรง | 69 |
| 3.8.1 ถอดพิกัดของลวดอัดแรงออกมาจากแบบแปลนที่ศึกษา..... | 69 |
| 3.8.2 กำหนดคุณสมบัติของลวดอัดแรง | 70 |
| 3.8.3 กำหนดลวดอัดแรงในโปรแกรม..... | 71 |
| 3.9 การใส่เหล็กเสริมในหน้าตัดสะพาน..... | 72 |
| 3.9.1 Longitudinal Reinforcement tab | 73 |
| 3.9.2 Shear Reinforcement..... | 73 |
| 3.10 Creep/Shrinkage/Comp. Strength/Material Link..... | 74 |
| 3.10.1 กำหนด Creep/Shrinkage | 74 |
| 3.10.2 Comp. Strength..... | 75 |
| 3.10.3 Material Link..... | 75 |
| 3.10.4 Chang Property | 76 |
| 3.11 กำหนด Moving Load..... | 77 |
| 3.11.1 Traffic Line Lanes | 77 |
| 3.11.2 Vehicle..... | 78 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| | |
|--|----|
| 3.11.3 Moving Load Case..... | 78 |
| 3.11.4 ระยะน้ำหนักลงเพลาและน้ำหนักลงเพลาของรถไฟฟ้า BTS 3 โบกี้..... | 80 |
| บทที่ 4..... | 81 |
| ผลการทดลอง..... | 81 |
| 4.1 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่ผิวบนและผิวล่างในขณะก่อสร้างและในขณะใช้งาน..... | 81 |
| 4.2 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในลวดอัดแรง..... | 89 |
| 4.3 แรงเฉือนในคอนกรีตอัดแรง..... | 90 |
| 4.4 ระยะการแอนตัวของสะพาน..... | 91 |
| บทที่ 5..... | 93 |
| สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... | 93 |
| 5.1 สรุปผล..... | 93 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 95 |
| บรรณานุกรม..... | 96 |
| ภาคผนวก..... | 97 |

สารบัญตาราง

หน้า

| | |
|--|----|
| ตารางที่ 1.1-1 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... | 15 |
| ตารางที่ 2.5-1 ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดสำหรับลวดอัดแรง..... | 27 |
| ตารางที่ 2.5-2 ค่าตัวคูณของการคืบเนื่องจากผลของขนาดและรูปร่างของคาน..... | 30 |
| ตารางที่ 2.5-3 ค่าของตัวคูณของการคืบเนื่องจากอายุของคอนกรีต ในขณะถ่ายแรงและระยะเวลาในการบ่ม..... | 30 |

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| | |
|---|-----|
| ตารางที่ 2.5-5 สัดส่วนของหดตัวของคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา | 32 |
| ตารางที่ 2.5-6 ค่าตัวคูณของการหดตัวของคอนกรีตเนื่องจากขนาดและรูปร่างของคาน | 32 |
| ตารางที่ 3.1-1 แสดงการรวมแรง (Load Combination)..... | 41 |
| ตารางที่ 3.1-2 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกถาวร (Permanent Load)..... | 41 |
| ตารางที่ 3.7-1 ค่าการ Prestress ที่ CS2..... | 67 |
| ตารางที่ 3.8-1 ตัวอย่างพิกัดของ Tendon เส้น T11..... | 69 |
| ตารางที่ ก-1 ตารางข้อมูลดิบของ Stress in concrete ในขั้นตอนของการก่อสร้าง (Top fiber)..... | 98 |
| ตารางที่ ก-2 ตารางข้อมูลดิบของ Stress in concrete ในขั้นตอนของการก่อสร้าง (bottom Fiber)..... | 99 |
| ตารางที่ ก-3 ตารางข้อมูลดิบของ Stress in concrete ในขั้นตอนของรับน้ำหนักบรรทุก (Top fiber และ Bottom Fiber) | 100 |
| ตารางที่ ก-4 ตารางข้อมูลดิบของค่า Shear Force ในขณะก่อสร้างและขณะรับน้ำหนักบรรทุก | 101 |
| ตารางที่ ก-5 ตารางข้อมูลดิบของค่า Tensile Stress ในขณะก่อสร้างและขณะรับน้ำหนักบรรทุก | 102 |
| ตารางที่ ก-6 ตารางข้อมูลดิบของค่า Displacement ในขณะก่อสร้างและขณะรับน้ำหนักบรรทุก | 103 |

สารบัญรูป

หน้า

| | |
|---|----|
| รูปที่ 2.1-1 Minato Bridge Osaka Japan..... | 17 |
| รูปที่ 2.2-1 สะพานพระราม 5 ประเทศไทย..... | 18 |
| รูปที่ 2.3-1 ลวดอัดแรงในโครงสร้างสะพาน | 20 |
| รูปที่ 2.3-2 วิธีการก่อสร้างแบบสมมาตร (Symmetrical Method)..... | 21 |
| รูปที่ 2.3-3 วิธีการก่อสร้างแบบอสมมาตร (Asymmetrical Method)..... | 21 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| | |
|---|----|
| รูปที่ 2.3-4 รายละเอียดขั้นตอนการก่อสร้างสะพานคานยื่นสมดุล (Cast in situ segment)..... | 22 |
| รูปที่ 2.3-5 แสดง lifting frame ที่ติดตั้งบนสะพาน | 23 |
| รูปที่ 2.3-6 รายละเอียดขั้นตอนการก่อสร้างสะพานคานยื่นสมดุล (Precast segment)..... | 23 |
| รูปที่ 2.6-1 แสดง segment layout ของสะพาน..... | 34 |
| รูปที่ 2.6-2 Section wide 8.40 m. dept max 3.8 m min 2.00 m..... | 35 |
| รูปที่ 2.6-3 plan Longitudinal tendon layout, BANGKOK MASS TRANSIT SYSTEM SAPHAN MAI – LAM LUK KA SECTION | 36 |
| รูปที่ 2.6-4 Longitudinal tendon layout, BANGKOK MASS TRANSIT SYSTEM SAPHAN MAI – LAM LUK KA SECTION | 36 |
| รูปที่ 2.6-5 Construction Stage ส่วนแรก..... | 37 |
| รูปที่ 2.6-6 Construction Stage ส่วนที่สอง..... | 37 |
| รูปที่ 2.6-7 Construction Stage ส่วนที่สาม..... | 38 |
| รูปที่ 3.2-1 หน้าต่าง Unit System..... | 42 |
| รูปที่ 3.2-2 แสดง Properties Tab..... | 43 |
| รูปที่ 3.2-3 หน้าต่าง Material Properties ในส่วน Material tab..... | 43 |
| รูปที่ 3.2-4 หน้าต่าง Material Data..... | 44 |
| รูปที่ 3.2-5 แสดง Properties Tab..... | 45 |
| รูปที่ 3.2-6 หน้าต่าง Section Properties ในส่วน Section tab..... | 45 |
| รูปที่ 3.2-7 หน้าต่าง Section Data..... | 46 |
| รูปที่ 3.2-8 หน้าต่างแสดง Section Span ในส่วน PSC Tab..... | 47 |
| รูปที่ 3.2-9 หน้าต่างแสดง Section Support ในส่วน PSC Tab..... | 47 |
| รูปที่ 3.2-10 หน้าต่าง Section Data ในส่วน Tapered Tab..... | 48 |
| รูปที่ 3.2-11 แสดง Node/Element Tab..... | 49 |
| รูปที่ 3.2-12 หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Node Tab / Create Nodes..... | 49 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| | |
|--|----|
| รูปที่ 3.2-13 แสดง Node/Element Tab..... | 50 |
| รูปที่ 3.2-14 หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Element Tab / Extrude Element..... | 51 |
| รูปที่ 3.2-15 หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Element Tab / Mirror Element..... | 52 |
| รูปที่ 3.2-16 การลาก Section Properties และวางลงบน Element ที่เลือก..... | 53 |
| รูปที่ 3.2-17 แสดง Properties Tab..... | 54 |
| รูปที่ 3.2-18 หน้าต่าง Tapered Section Group..... | 54 |
| รูปที่ 3.2-19 โมเดลสะพานแบบ 3D..... | 55 |
| รูปที่ 3.2-20 รูปด้านข้างโมเดลสะพาน..... | 55 |
| รูปที่ 3.3-1 หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Structure Group..... | 56 |
| รูปที่ 3.3-2 หน้าต่าง Define Structure Group..... | 56 |
| รูปที่ 3.3-3 การลากและวางเพื่อกำหนด Structure Group..... | 57 |
| รูปที่ 3.4-1 หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Boundary Group..... | 58 |
| รูปที่ 3.4-2 แสดงการสร้าง Boundary Group..... | 58 |
| รูปที่ 3.4-3 แสดง Boundary Tab..... | 59 |
| รูปที่ 3.4-4 แสดงการกำหนด Rigid Link..... | 60 |
| รูปที่ 3.5-1 แสดง Load Tab..... | 61 |
| รูปที่ 3.5-2 แสดงการกำหนด Load Case..... | 61 |
| รูปที่ 3.5-3 หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Load Group..... | 62 |
| รูปที่ 3.5-4 แสดงการสร้าง Load Group..... | 62 |
| รูปที่ 3.6-1 แสดง Load Tab..... | 63 |
| รูปที่ 3.6-2 หน้าต่าง Define Construction Stage..... | 63 |
| รูปที่ 3.6-3 แสดง Load Tab..... | 64 |
| รูปที่ 3.6-4 หน้าต่าง Compose Construction Stage..... | 64 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| | |
|--|----|
| รูปที่ 3.7-1 แสดงลักษณะของน้ำหนักและโมเมนต์จาก Form traveler ที่กระทำ | 66 |
| รูปที่ 3.7-2 การใส่ค่า Time Load..... | 68 |
| รูปที่ 3.7-3 การใส่ค่า Superimposed dead load..... | 68 |
| รูปที่ 3.8-1 Tendon ที่นำไปเขียนบน Auto cad เพื่อถอดพิกัด 3 มิติ | 69 |
| รูปที่ 3.8-2 ด้านซ้ายรูปของหน้าต่าง Tendon Property ด้านขวารูปหน้าต่าง Add/Modify Tendon Property..... | 70 |
| รูปที่ 3.8-3 ด้านซ้ายรูปของหน้าต่าง Tendon Profile ด้านขวารูปหน้าต่าง Add/Modify Tendon Profile | 71 |
| รูปที่ 3.9-1 การใส่เหล็กเสริม Longitudinal Reinforcement ที่หน้าตัดกึ่งกลาง(Section Span) | 72 |
| รูปที่ 3.9-2 การใส่เหล็กเสริม Shear Reinforcement ที่หน้าตัดกึ่งกลาง(Section Span)..... | 73 |
| รูปที่ 3.10-1 หน้าต่างกำหนดค่า Creep/Shrinkage | 74 |
| รูปที่ 3.10-2 หน้าต่างกำหนดค่า Comp. Strength..... | 75 |
| รูปที่ 3.10-3 การกำหนดค่า Change property..... | 76 |
| รูปที่ 3.11-1 กำหนดค่าของรางรถไฟ..... | 77 |
| รูปที่ 3.11-2 กำหนดค่าสเปกของรถไฟ BTS จำนวน 3 โบกี้..... | 78 |
| รูปที่ 3.11-3 การสร้าง Moving Load Case | 79 |
| รูปที่ 3.11-4 ระบุน้ำหนักของเพลลาและน้ำหนักของเพลลาของรถไฟ BTS 3 โบกี้..... | 80 |
| รูปที่ 3.11-5 การกด Analysis Model..... | 80 |
| รูปที่ 3.11-6 Perform Design..... | 80 |
| รูปที่ 4.1-1 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 7 เทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง..... | 82 |
| รูปที่ 4.1-2 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 8 เทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง..... | 82 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| | |
|---|----|
| รูปที่ 4.1-3 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างชั้นตอนที่ 9 เทียบกับหน่วยแรง ขีดจำกัดของโครงสร้าง..... | 83 |
| รูปที่ 4.1-4 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างชั้นตอนที่ 10 เทียบกับหน่วยแรง ขีดจำกัดของโครงสร้าง..... | 83 |
| รูปที่ 4.1-5 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนขณะใช้งานเทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของ โครงสร้าง..... | 84 |
| รูปที่ 4.1-6 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างชั้นตอนที่ 7 เทียบกับหน่วยแรง ขีดจำกัดของโครงสร้าง..... | 85 |
| รูปที่ 4.1-7 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างชั้นตอนที่ 8 เทียบกับหน่วยแรง ขีดจำกัดของโครงสร้าง..... | 86 |
| รูปที่ 4.1-8 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างชั้นตอนที่ 9 เทียบกับหน่วยแรง ขีดจำกัดของโครงสร้าง..... | 86 |
| รูปที่ 4.1-9 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างชั้นตอนที่ 10 เทียบกับหน่วยแรง ขีดจำกัดของโครงสร้าง..... | 87 |
| รูปที่ 4.1-10 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนขณะใช้งานเทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของ โครงสร้าง..... | 87 |
| รูปที่ 4.2-1 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ลวดอัดแรงในทุกชั้นตอนที่พิจารณาเทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง | 89 |
| รูปที่ 4.3-1 ผลของแรงเฉือนในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้างและขณะใช้งาน..... | 90 |
| รูปที่ 4.4-1 ระยะการแอ่นตัวของสะพานในขั้นตอนการก่อสร้างชั้นตอนที่ 7..... | 91 |
| รูปที่ 4.4-2 ระยะการแอ่นตัวของสะพานในขั้นตอนการก่อสร้างชั้นตอนที่ 8..... | 91 |
| รูปที่ 4.4-3 ระยะการแอ่นตัวของสะพานในขั้นตอนการก่อสร้างชั้นตอนที่ 9..... | 92 |
| รูปที่ 4.4-4 ระยะการแอ่นตัวของสะพานในขั้นตอนการก่อสร้างชั้นตอนที่ 10..... | 92 |
| รูปที่ 4.4-5 ระยะการแอ่นตัวของสะพานในขั้นตอนการก่อสร้างชั้นตอน service stage..... | 92 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันมีโครงการก่อสร้างระบบขนส่งสาธารณะรถไฟฟ้าเกิดขึ้นมาเป็นระยะ ๆ ซึ่งในโครงการเหล่านี้ก็จะมีโครงสร้างสะพานที่น่าสนใจเพราะมีประโยชน์อย่างมาก คือโครงสร้างสะพานรถไฟฟ้าเมื่อมีการก่อสร้างแบบคานยื่นสมดุล (Balance Cantilever) ที่ในปัจจุบันมีการนำมาออกแบบและใช้งานกันอย่างแพร่หลายสำหรับการก่อสร้างสะพาน โดยโครงสร้างจะใช้ในช่วงการก่อสร้างที่มีช่วงยาว ไม่ต้องการนั่งร้านค้ำยัน สามารถก่อสร้างได้หลาย ๆ ช่วงพร้อมกัน เช่น ในช่วงที่มีการก่อสร้างสะพานข้ามแม่น้ำ สะพานข้ามถนนที่มีการจราจรหนาแน่น เป็นต้น โดยโครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อการวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้าง Balance Cantilever Bridge ในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง โดยจะแบ่งศึกษาเป็นในช่วงของการสร้างก่อนเสร็จวิเคราะห์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรและน้ำหนักบรรทุกตายตัว ระหว่างการก่อสร้าง และในช่วงการสร้างเสร็จแล้ววิเคราะห์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของรถไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของโครงสร้างสะพานรถไฟฟ้ายกระดับภายใต้วิธีการก่อสร้างแบบคานยื่นสมดุล
2. เพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนโครงสร้างในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง
3. เพื่อหาการโก่งตัวที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนโครงสร้างในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง
4. เพื่อเปรียบเทียบความเค้นสูงสุดและการโก่งตัวสูงสุดในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| NO. | TASK NAME | DURATION | 2020 | | | | | 2021 | | | |
|-----|--|----------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| | | | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC | JAN | FEB | MAR | APR |
| 1 | ศึกษาแบบโครงสร้างและรายละเอียดต่าง ๆ | 8 weeks | | | | | | | | | |
| 2 | ศึกษาการใช้โปรแกรม Midas Civil ในโหมด FCM bridge | 4 weeks | | | | | | | | | |
| 3 | ขึ้นโมเดลสะพานรถไฟแบบคานยื่นสมดุลที่จะใช้ศึกษา | 12 weeks | | | | | | | | | |
| 4 | วิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างจากโมเดลที่ศึกษา | 16 weeks | | | | | | | | | |
| 5 | วิเคราะห์ผลการศึกษาและสรุปผลการศึกษา | 8 weeks | | | | | | | | | |
| 6 | ทำเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์ | 16 weeks | | | | | | | | | |

ตารางที่ 1.1-1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- ศึกษาสะพานรถไฟแบบคานยื่นสมดุลต่อเนื่องสามช่วงมีช่วงความยาวหลัก (Main span) ยาวเท่ากับ 60 เมตร และมีความยาวช่วงข้างเคียง (Side Span) เท่ากับ 37.5 เมตร รวมความยาว 135 เมตร
- ศึกษาสะพานสะพานรถไฟแบบคานยื่นสมดุลที่มีหน้าตัดแบบ Double Track กว้าง 8.40 เมตร
- ในขั้นตอน (Stage) การก่อสร้างแบบคานยื่นสมดุลตามแบบ เลือกว่าวิเคราะห์ 4 ขั้นตอนจากทั้งหมด 10 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

Stage 7 ช่วงก่อนสร้าง Key Segment

Stage. 8 ช่วงสร้าง Key Segment แล้ว.

Stage 9 ช่วงก่อนสร้าง Pier Segment.

Stage 10 ช่วงสร้าง Pier Segment แล้ว.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. ใช้ขบวนรถของ BTS จำนวนโบกี้ตามปกติ (3 โบกี้) ตามแบบมาตรฐานซึ่งจะใช้ใน stage ขั้นตอนสุดท้ายขณะรับน้ำหนักบรรทุก
5. ไม่พิจารณาแรงทางด้านข้างและแรงแผ่นดินไหว

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1-1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้การวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างด้วยโปรแกรม Midas Civil
2. ได้ทราบพฤติกรรมของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของโครงสร้างสะพานรถไฟฟ้ามะเมื่อมีการก่อสร้างแบบคานยื่นสมดุล (Balance Cantilever)
3. ได้ทราบมาตรฐานข้อกำหนดต่าง ๆ ในการก่อสร้างสะพาน
4. ได้ทราบลักษณะของสะพานที่เป็น Superstructure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 สะพานโครงสร้างคานยื่น (Cantilever Bridge)

2.1.1 คำจำกัดความของ Cantilever Bridge

เป็นสะพานรูปแบบหนึ่ง ที่สร้างขึ้นโดยใช้ส่วนโครงสร้างที่ยื่นออกไป ในพื้นที่ด้านข้างของเสาตอม่อ (จุดรองรับ) เพียงข้างเดียวในแนวนอน ตัวอย่างสะพาน อาจจะเป็นโครงสร้างขนาดเล็ก ๆ อย่าง สะพานลอยคานยื่น (Cantilever) เป็น คานอย่างง่าย (Simple Beams) อนุกรมใดก็ได้โครงสร้างขนาดใหญ่ที่ออกแบบมาเพื่อรองรับการจราจรทางถนนหรือทางรถไฟ ตัวคานยื่น (Cantilever) นั้นจะสร้างจากโครงถักเหล็กหรือคานคอนกรีตอัดแรงโดยสะพานโครงสร้างคานยื่น ถือเป็นความก้าวหน้าในทางวิศวกรรมที่สำคัญเนื่องจากขจัดปัญหาการก่อสร้างสะพานในช่วงยาวๆไปได้ ตัวอย่างของสะพานคานยื่น Minato Bridge Osaka เป็นแบบสองผิวทางสัญจร (double-deck cantilever truss) ดังแสดงในรูปที่ 2.1-1 [4]



รูปที่ 2.1-1 Minato Bridge Osaka Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 สะพานโครงสร้างคานยื่นสมดุล (Balanced Cantilever Bridge)

2.2.1 คำจำกัดความของ Balanced Cantilever Bridge

เป็นสะพานที่เกิดจากการก่อสร้างโดยวิธีคานยื่นสมดุล (Balanced Cantilever Method) โดยมีลักษณะคล้ายกับ สะพานโครงสร้างคานยื่น แต่แตกต่างกันโดย Balanced Cantilever Bridge มีหลักการสร้างขึ้นโดยใช้ส่วนโครงสร้างที่ยื่นออกไป ในพื้นที่ด้านข้างของเสาตอม่อ(จุดรองรับ) ทั้งสองข้างในแนวนอนซึ่งในสะพานโครงสร้างคานยื่น มีเพียงข้างเดียว ตัวอย่างสะพานแสดงในรูปที่ 2.2-1 สะพานพระราม 5 [4]



รูปที่ 2.2-1 สะพานพระราม 5 ประเทศไทย

2.3 การก่อสร้างสะพานแบบคานยื่นสมดุล (Balanced Cantilever Method)

2.3.1 ประวัติ Balanced Cantilever

จากประวัติที่ปรากฏการก่อสร้างด้วยวิธี Balanced Cantilever นี้เริ่มมีความนิยมหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 ผลกระทบจากสงครามทำให้สะพานในหลาย ๆ แห่งได้รับความเสียหายและพังทลายไปมาก ประกอบกับมีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีคอนกรีตอัดแรง วิธีนี้จึงนิยมใช้กันเรื่อยมา {5} เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.2 คำจำกัดความและข้อดี

Balanced Cantilever Method เป็นรูปแบบของการก่อสร้างสะพานที่คล้ายคลึงกับวิธีคานยื่น (Cantilever) วิธีการก่อสร้างแบบคานยื่นสมดุล ใช้ในสะพานที่มีช่วงสะพานยาว 50 ถึง 250 เมตร สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในปัจจุบัน โดยตัวสะพานจะใช้โครงสร้างในแนวนอนส่วนที่ยื่นเช่น คานคอนกรีตอัดแรงชนิดหล่อในที่หรือหล่อสำเร็จรูปจากโรงงานมาก่อน ออกไปทั้งสองฝั่งในการยึดกับชิ้นส่วนบนเสาตอม่อ (ส่วนรองรับ) ให้ประกอบเข้าด้วยกันเพื่อมารับน้ำหนักของสะพาน [5]

ข้อดีของการก่อสร้างด้วยวิธีนี้คือการ การก่อสร้างสามารถก่อสร้างได้หลาย ๆ ช่วงพร้อมกัน ทำให้ลดการต่างของค่าระดับที่ปลายชิ้นส่วน ก่อนหล่อชิ้นส่วนปิด Closure pore ช่วงสุดท้ายของโครงสร้างจากการทรุดของฐานรากตามเวลา ลดปริมาณแบบหล่อคอนกรีตเนื่องจากทำการหล่อทีละชิ้นส่วน ลดนั่งร้านค้ำยันที่ค่าจากระดับพื้นด้านล่างและถ้าเป็นสะพานในพื้นที่แม่น้ำหรือการจราจรแออัดก็ไม่ต้องการเลย [5]

2.3.3 หลักการและแนวคิด

ส่วนประกอบของโครงสร้างหลักของสะพานคานยื่นสมดุลมีดังนี้ [5]

• ชิ้นส่วนคอนกรีต

- Pier Table Segment ชิ้นส่วนคอนกรีตที่อยู่ข้างบนหัวเสาตอม่อ
- Segment ชิ้นส่วนคอนกรีตที่ยื่นออกมาด้านข้างทั้งสองฝั่งจากชิ้นส่วนของ Pier Table Segment
- Closure pour ชิ้นส่วนคอนกรีตที่ทำการหล่อเชื่อมปิดโครงสร้างในขั้นตอนสุดท้ายของสะพาน

• ส่วนของลวดอัดแรง

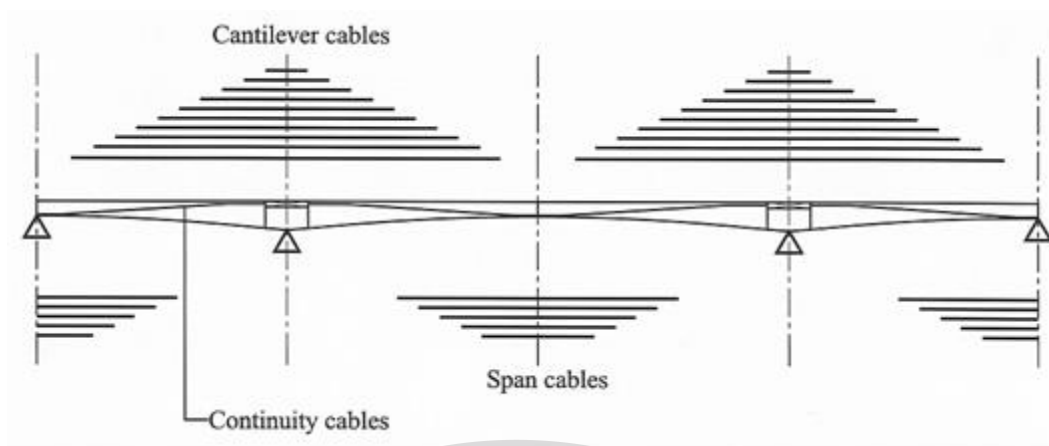
- Cantilever cables ลวดอัดแรงในส่วนของการรับโมเมนต์ลบ ในช่วงที่มีการก่อสร้างชิ้นส่วนต่อยื่นออกจากหัวเสาตอม่อออกไปมาก ๆ
- Span cables ลวดอัดแรงในส่วนของการรับโมเมนต์บวกช่วงกลางสะพาน ในช่วงหลังจากการหล่อปิดช่วงกลาง (Closure pour) แล้ว
- Continuity cables ลวดอัดแรงในส่วนที่ทำให้โครงสร้างสะพานมีพฤติกรรมแบบคานต่อเนื่อง

ลวดอัดแรงทั้งสามส่วนแสดงในรูปที่ 2.3-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3-1 ลวดอัดแรงในโครงสร้างสะพาน

ที่มา: <http://52010310787.blogspot.com/2012/09/balance-cantilever.html>

- ส่วนโครงสร้างเพิ่มเติมที่ใช้ในการก่อสร้าง
 - Traveler Formwork แบบหล่อขึ้นส่วนเคลื่อนที่

2.3.4 วิธีการก่อสร้าง Balanced Cantilever ตามลักษณะการยื่นของโครงสร้าง

วิธีการก่อสร้างสะพานคานยื่นสมดุลสามารถจำแนกวิธีการก่อสร้างตามลักษณะการยื่นของโครงสร้างได้เป็น 2 ประเภท คือ วิธีสมมาตร (Symmetrical Method) และวิธีอสมมาตร (Asymmetrical Method)

- วิธีสมมาตร (Symmetrical Method)

วิธีนี้การก่อสร้างขึ้นส่วนที่ยื่น จะทำทั้งสองข้างพร้อม ๆ กัน ในส่วนของการออกแบบจะค่อนข้างง่าย แต่ในส่วนของการก่อสร้างจะต้องใช้กำลังคนและแบบหล่อเคลื่อนที่ 2 ตัวพร้อม ๆ กัน และพื้นที่ติดตั้งแบบหล่อเคลื่อนที่บนหัวเสาก็ต้องเพียงพอสำหรับ 2 ตัวด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.3-2 [5]

- วิธีอสมมาตร (Asymmetrical Method)

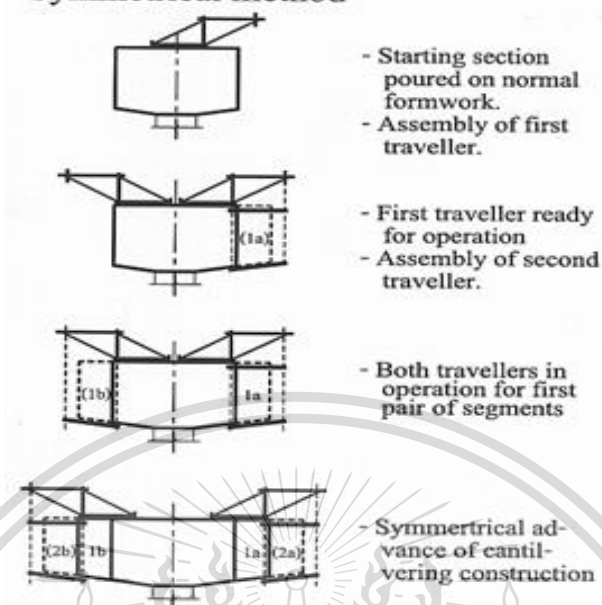
วิธีนี้จะทำการก่อสร้างขึ้นส่วนที่ยื่น ทีละข้าง ในส่วนของการออกแบบจึงต้องคำนึงถึงผลต่อแนวของลวดอัดแรงและน้ำหนักจากการก่อสร้างของขึ้นส่วนที่ยื่นออกมาทีละข้างนี้ด้วย ส่วนของการก่อสร้างจะลดพื้นที่ทำงานบริเวณหัวเสาเองจากการที่ทำทีละข้างดังแสดงในรูปที่ 2.3-3 [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

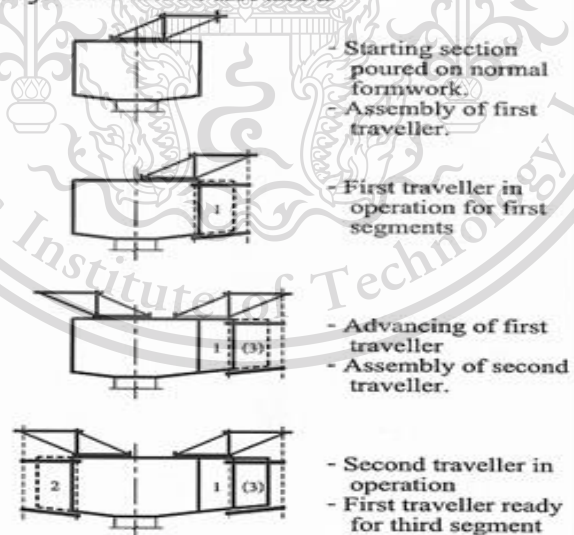
Symmetrical method



รูปที่ 2.3-2 วิธีการก่อสร้างแบบสมมาตร (Symmetrical Method)

ที่มา: <http://52010310787.blogspot.com/2012/09/balance-cantilever.html>

Asymmetrical method



รูปที่ 2.3-3 วิธีการก่อสร้างแบบอสมมาตร (Asymmetrical Method)

ที่มา: <http://52010310787.blogspot.com/2012/09/balance-cantilever.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

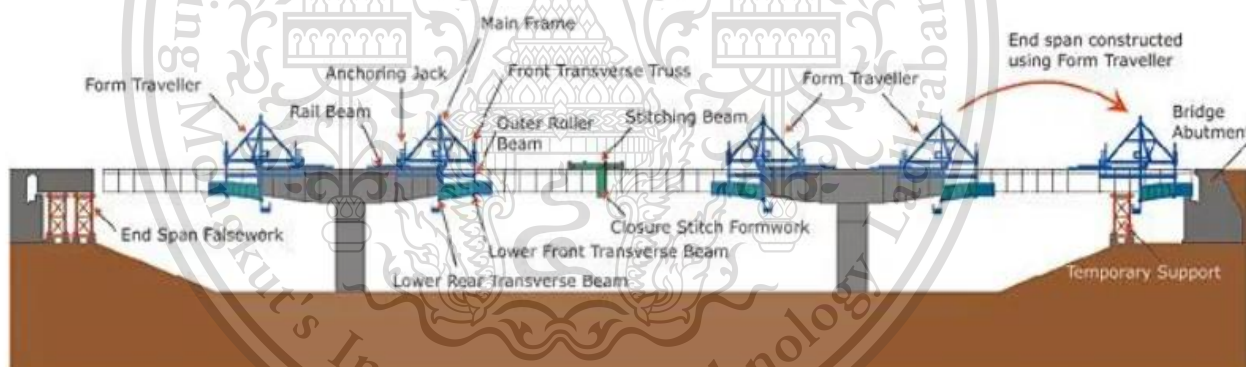
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.5 วิธีการก่อสร้าง Balanced Cantilever ตามลักษณะของการสร้างชิ้นส่วนคานคอนกรีตอัดแรง

วิธีการก่อสร้างสะพานคานยื่นสมดุลสามารถจำแนกวิธีการก่อสร้างตามลักษณะของการสร้างชิ้นส่วนคานคอนกรีตอัดแรงเป็น 2 ประเภท คือ วิธีหล่อชิ้นส่วนในที่ก่อสร้าง (Cast in situ segment) และวิธีหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จในโรงงานมาประกอบที่สถานที่ก่อสร้าง (Precast segment)

- วิธีหล่อชิ้นส่วนในที่ก่อสร้าง (Cast in situ segment)

วิธีนี้จะทำโดยการหล่อชิ้นส่วนคานคอนกรีตอัดแรงในที่ก่อสร้างโดยจะเริ่มจากการที่ติดตั้ง Traveller Form แสดงในรูปที่ 2.3-4 บนชิ้นส่วน Pier Table Segment และทำการหล่อชิ้นส่วนออกไปทั้งสองข้างจนเสร็จสิ้น วิธีนี้ใช้ในการก่อสร้างสะพานช่วงความยาวมาก ๆ เช่นข้ามแม่น้ำและที่มีการจราจรแออัดเพราะไม่ต้องการค้ำยันแนวตั้งจะระดับพื้น และวิธีนี้ไม่ต้องกังวลถึงปัญหาการขนส่งชิ้นส่วนมาประกอบเพราะเป็นการหล่อในที่ [4]



รูปที่ 2.3-4 รายละเอียดขั้นตอนการก่อสร้างสะพานคานยื่นสมดุล (Cast in situ segment)

ที่มา: <https://theconstructor.org/structures>

- วิธีหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จ (Precast segment)

วิธีนี้จะทำการหล่อชิ้นส่วนคานคอนกรีตอัดแรงในโรงงานมาก่อนและนำไปติดตั้งที่สถานที่ก่อสร้าง ทำให้การควบคุมคุณภาพชิ้นส่วนทำได้ดี โดยวิธีนี้หลังจากทำการก่อสร้างชิ้นส่วน Pier Table Segment เสร็จแล้วจะติดตั้ง lifting frame ตัวอย่างในรูปที่ 2.3-5 จากนั้นขนส่งชิ้นส่วนมาแล้วยกติดตั้งผ่าน lifting spreader ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

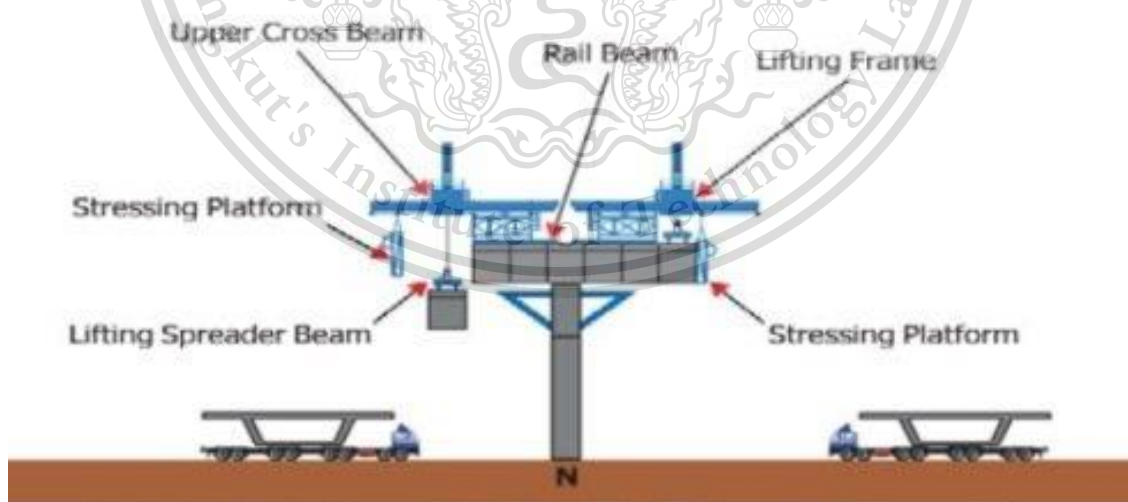
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

beam แสดงในรูปที่ 2.3-6 ขึ้นไปประกอบ แล้วสร้าง wet joint และ cure wet joint หลังจากนั้นติดตั้ง
ชั้นส่วนต่อไปทำแบบนี้ซ้ำจนเสร็จการก่อสร้าง ขั้นตอนสุดท้ายนำ lifting frame ออก [4]



รูปที่ 2.3-5 แสดง lifting frame ที่ติดตั้งบนสะพาน

ที่มา: <https://theconstructor.org/structures>



รูปที่ 2.3-6 รายละเอียดขั้นตอนการก่อสร้างสะพานคานยื่นสมดุล (Precast segment)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับที่มา: <https://theconstructor.org/structures> ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 ทฤษฎีคอนกรีตอัดแรง

การอัดแรง (Prestressing) หมายถึง การให้ความเค้นแก่องค์อาคารแม้ขณะที่องค์อาคารนั้นยังไม่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำ โดยที่ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างคอนกรีตเสริมเหล็กกับคอนกรีตอัดแรงคือคอนกรีตเสริมเหล็กจะประกอบไปด้วยคอนกรีตและเหล็กเสริมโดยเพียงแต่วางเหล็กเสริมในตำแหน่งที่ต้องการแต่ในคอนกรีตอัดแรงเหล็กเสริมกับคอนกรีตจะอยู่ในสภาพความเค้นตั้งแต่แรกตั้ง ๆ ที่ยังไม่ได้รับแรงกระทำจากภายนอก โดยเหล็กจะถูกดึงค้างไว้ในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตอยู่ในสภาพความเค้นอัด ส่วนเหล็กอยู่ในสภาพความเค้นดึงสภาพเช่นนี้ จะทำให้พฤติกรรมของเหล็กและคอนกรีตสามารถใช้งานได้ดีขึ้น เหล็กจะสามารถใช้งานได้ในหน่วยแรงดึงสูงๆ และคอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุเปราะรับแรงอัดได้ดีแต่รับแรงดึงได้ต่ำ เมื่อให้แรงอัดไว้ก่อนก็เท่ากับเป็นการปรับปรุงความสามารถในการรับแรงดึงของคอนกรีตด้วย [6]

2.4.1 ประเภทของคอนกรีตอัดแรง

แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ประเภท อัดแรงก่อน (Pre-tensioning) และอัดแรงภายหลัง (Post-tensioning)

ประเภทอัดแรงก่อน (Pre-tensioning) โดยจะทำการดึงลวดอัดแรงก่อนแล้วจึงหล่อคอนกรีต ตัวอย่างการอัดแรงประเภทนี้ได้แก่ เสาเข็ม คานสำเร็จรูป พื้นสำเร็จรูป เป็นต้น

ประเภทอัดแรงภายหลัง (Post-tensioning) โดยประเภทนี้ จะหล่อคอนกรีตก่อนแล้วจึงทำการดึงลวดอัดแรงภายหลัง [6]

2.4.2 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีต

การวิเคราะห์คอนกรีตอัดแรงในสภาวะใช้งาน (Service state) โดยสมมุติฐานว่าคอนกรีตเป็นวัสดุยืดหยุ่นในสภาวะใช้งาน จึงส่งผลให้ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ทฤษฎีอีลาสติก หลักที่ใช้ในการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตอัดแรงในสภาวะใช้งาน คือหลังการรวมแรงหน่วยแรงในคอนกรีต [2]

ณ ตำแหน่งที่เกิดจากการอัดแรง P มีระยะเยื้องศูนย์กลาง e และโมเมนต์ภายนอก M จะหาได้จากสมการ

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \pm \frac{Pey}{I} \pm \frac{My}{I}$$

โดยการวิเคราะห์ที่สภาวะใช้งานนั้นจะแยกอีกเป็นสองกรณีคือ

1. ขณะถ่ายแรง (Transfer Stage)
2. ขณะรับน้ำหนักบรรทุก (working)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.2.1 การวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตขณะถ่ายแรง (Transfer Stage)

ดังนั้นสมการที่ใช้ในการคำนวณหน่วยแรงในคอนกรีตที่เกิดขึ้นดังนี้

$$\sigma_c = \frac{P_l}{A} \pm \frac{P_l e_y}{I} \pm \frac{M_G y}{I}$$

2.4.2.2 การวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตขณะรับน้ำหนักบรรทุก (working)

สมการที่ใช้ในการคำนวณหน่วยแรงในคอนกรีตที่เกิดขึ้นดังนี้

$$\sigma_c = \frac{P_e}{A} \pm \frac{P_l e_y}{I} \pm \frac{M_G y}{I}$$

2.4.3 ค่าโมเมนต์ที่ทำให้คอนกรีตเริ่มแตกร้าว (Cracking Moment)

สมการที่ใช้ในการคำนวณหน่วยแรงในคอนกรีตที่เกิดขึ้นดังนี้

$$M_{cr} = P_e + \frac{P_l}{AC_b} + f_r$$

2.4.4 การออกแบบหน้าตัดสำหรับคอนกรีตอัดแรง (Design of section)

สมการที่ใช้ในการคำนวณหน่วยแรงในคอนกรีตที่เกิดขึ้นดังนี้

$$f = \frac{P}{A} + \sum n_{k=1} \left(\frac{P_k}{A} \right) + \frac{P e_y}{I} + \sum n_{k=1} \left(\frac{P_k e_{ky_k}}{I} \right) - \frac{M_y}{I}$$

เมื่อ f = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดที่มีค่าบวกเมื่อเกิดแรงอัดบนหน้าตัดและมีค่าลบเมื่อเกิดแรงดึงบนหน้าตัด

(σ_{ci}) = การรับแรงอัดของคอนกรีตขณะถ่ายแรง

(σ_{ti}) = การรับแรงดึงของคอนกรีตขณะถ่ายแรง

(σ_{ci}) = การรับแรงอัดของคอนกรีตขณะใช้งาน

(σ_{ti}) = การรับแรงดึงของคอนกรีตขณะใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 แรงดึงในลวดอัดแรงชุดที่ออกแบบ ซึ่งทำให้เกิดแรงอัดบนหน้าตัด
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|----|---|--|
| | | กำหนดให้ P มีค่าบวก |
| Y | = | ระยะจุดศูนย์ถ่วงกลางหน้าตัดจากตำแหน่งที่พิจารณา กำหนดให้ Y มีค่าบวกเมื่ออยู่ต่ำกว่าจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดและมีค่าลบ เมื่ออยู่เหนือจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด |
| A | = | พื้นที่หน้าตัดคานสะพาน |
| I | = | โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดสะพาน |
| e | = | ระยะเยื้องศูนย์ของลวดอัดแรงชุดที่กำลังออกแบบกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดสะพาน กำหนดให้ e มีค่าบวก เมื่ออยู่ต่ำกว่าจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดและมีค่าลบ เมื่ออยู่เหนือจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด |
| ek | = | ระยะเยื้องศูนย์ของลวดอัดแรงชุดที่ k กับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดสะพาน กำหนดให้ มีค่าบวก ek เมื่ออยู่ต่ำกว่าจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดและมีค่าลบ เมื่ออยู่เหนือจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด |
| Cb | = | ระยะจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดถึงผิวล่างสุดของหน้าตัดมีค่าเป็นบวก |
| M | = | โมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรมีค่าเป็นบวก เมื่อทำให้เกิดแรงอัดที่ผิวบนของหน้าตัดและมีค่าลบเมื่อทำให้เกิดแรงดึงที่ผิวล่างของหน้าตัด |
| n | = | จำนวนชุดลวดอัดแรงทั้งหมดในหน้าตัดที่พิจารณา |

2.5 ทฤษฎีลวดอัดแรง

การสูญเสียแรงดึงที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์หน่วยแรงในลวดอัดแรงมีมีดังนี้
การสูญเสียแรงดึงจะแบ่งเป็น ที่เกิดขึ้นทันทีทันใดหลังจากการถ่ายแรง (immediate loss) และมีการสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นตามเวลา (time dependent loss) [2]

2.5.1 การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นทันทีทันใด (Immediate Loss) 2.5.1.1

การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากความฝืด (Friction Loss, FR)

$$FR = f_j (1 - e^{-(kx + \mu\alpha)}) \text{ เมื่อ } kx + \mu\alpha \leq 0.3$$

หรือ

$$FR = f_j \left(\frac{kx + \mu\alpha}{1 + kx + \mu\alpha} \right) \text{ เมื่อ } kx + \mu\alpha \leq 0.3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อ f_j = หน่วยแรงดึงที่ปลายลวดอัดแรงขณะถ่ายแรง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- K = สัมประสิทธิ์ความคด
 μ = สัมประสิทธิ์ความผิด
 α = ผลรวมของมุมที่เปลี่ยนไปจากปลายลวดอัดแรงถึงตำแหน่งที่พิจารณา มีหน่วยเป็นเรเดียน
x = ระยะในแนวราบจากปลายที่ดึงลวดอัดแรงถึงตำแหน่งที่พิจารณา

| ชนิดของเหล็กเสริมอัดแรง | ชนิดของท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรง | μ (ต่อเรเดียน) | k (ต่อเมตร) |
|------------------------------|--|-----------------------|----------------|
| ลวดอัดแรงหรือลวดเกลียวอัดแรง | ท่อโลหะมันวาว (bright metal sheathing) | 0.20-0.30 | 0.003-0.0066 |
| | ท่อโลหะเคลือบสังกะสี (galvanized metal sheathing) | 0.15-0.25 | 0.002-0.0049 |
| | หุ้มเคลือบด้วยจารบีหรือแอสฟัลต์ (greased or asphalt coated and wrapped) | 0.10-0.20 | 0.0015-0.004 |
| | ท่อโลหะแข็งเคลือบสังกะสี (galvanized rigid) | 0.25 | 0.0007 |
| เหล็กเส้นอัดแรง | ท่อโลหะมันวาว (bright metal sheathing) | 0.20 | 0.0010 |
| | ท่อโลหะเคลือบสังกะสี (galvanized metal sheathing) | 0.15 | 0.0007 |

ตารางที่ 2.5-1 ค่าสัมประสิทธิ์ความผิดสำหรับลวดอัดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.1.2 การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการเข้าที่ของสมอยึด (Anchorage Loss, ANC)

$$L_{anc} = \sqrt{\frac{A_{ps} \cdot E_s \cdot AncSet \cdot L}{FR}}$$

$$ANC = 2 \left(\frac{FR}{L} \right) (L_{anc} - x)$$

| | | | |
|-------|-----------|---|--|
| เมื่อ | A_{ps} | = | พื้นที่หน้าตัดของลวดอัดแรง |
| | E_s | = | ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของลวดอัดแรง |
| | $AncSet$ | = | ระยะขยับตัวเข้าที่ของสมอยึด |
| | FR | = | ค่าสูญเสียแรงดึงเนื่องจากความผิดที่ระยะ L |
| | ANC | = | ค่าสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการเข้าที่ของสมอ |
| | X | = | ระยะจากสมอยึดถึงจุดพิจารณา |
| | L | = | ระยะจากสมอยึดถึงจุดที่เกิดการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากความผิดสูงสุด |
| | L_{anc} | = | ระยะจากสมอยึดถึงจุดที่ไม่มีการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสมอยึด |

2.5.1.3 การสูญเสียแรงดึงจากการหดตัวของอิลาสติก (Elastic Shortening Loss, ES)

$$ES = 0.5 \left(\frac{E_s}{E_c} \right) f_{cir}$$

$$f_{cir} = \frac{\sum P_j}{A} + \left[\sum (P_j e) - M_G \right] \frac{e}{I}$$

| | | | |
|-------|-----------|---|---|
| เมื่อ | E_c | = | โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต |
| | E_s | = | โมดูลัสยืดหยุ่นของลวดอัดแรง |
| | f_{cir} | = | หน่วยแรงอัดคอนกรีตที่จุดศูนย์ถ่วงของลวดอัดแรงในขณะถ่ายแรง |
| | I | = | โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดสะพาน |
| | E | = | ระยะเยื้องศูนย์ของลวดอัดแรง |
| | A | = | พื้นที่หน้าตัดสะพาน |
| | P_j | = | แรงดึงลวดอัดแรงในขณะถ่ายแรง ที่หน้าตัดที่พิจารณา |
| | M_G | = | โมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักคงที่ของสะพาน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.2 การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นตามเวลา (Time dependent Loss)

2.5.2.1 การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคืบของคอนกรีต (Creep Loss, CR)

$$CR = (UCR)(SCF)(MCF)(PCR) f_{cr}$$

$$f_{cr} = \frac{\sum P_t}{A} + \left[\sum (P_t e) - M_G \right] \frac{e}{I}$$

$$PCR = (AUC)_t - (AUC)_{t1}$$

เมื่อ UCR = การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคืบของคอนกรีต
สำหรับการบ่มคอนกรีตด้วยความชื้น (moist cure)

$$UCR = 95 - 28.4 \frac{E_c}{10^5} < 11$$

สำหรับการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำยาเร่งปฏิกิริยา (accelerated cure)

$$UCR = 63 - 28.4 \frac{E_c}{10^5} < 11$$

SCF = ตัวคูณเนื่องจากผลของขนาดและรูปร่างของคาน

MCF = ตัวคูณเนื่องจากอายุของคอนกรีตขณะถ่ายแรงและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต

PCR = สัดส่วนการคืบสูงสุดของคอนกรีตในระหว่าง t1 ถึง t

AUC = สัดส่วนการคืบของคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

f_{cr} = หน่วยแรงอัดบนหน้าตัดของคอนกรีตที่จุดศูนย์ถ่วงของลวดอัดแรงที่
เวลา t หลังจากถ่ายแรง

Pt = แรงดึงในลวดอัดแรงที่ เวลา t หลังจากถ่ายแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| อัตราส่วนระหว่างปริมาตรและพื้นที่ผิว (V/S), ซม. | สัมประสิทธิ์การคืบ SCF |
|--|---------------------------|
| 2.54 | 1.05 |
| 5.08 | 0.96 |
| 7.62 | 0.87 |
| 10.16 | 0.77 |
| 12.70 | 0.68 |
| > 12.70 | 0.68 |

ตารางที่ 2.5-2 ค่าตัวคูณของการคืบเนื่องจากผลของขนาดและรูปร่างของคาน

| อายุของคอนกรีตหลังจากถ่ายแรง, วัน | ช่วงเวลาที่ใช้ในการบ่มคอนกรีต, วัน | สัมประสิทธิ์การคืบ MCF |
|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 3 | 3 | 1.14 |
| 5 | 5 | 1.07 |
| 7 | 7 | 1.00 |
| 10 | 7 | 0.96 |
| 20 | 7 | 0.87 |
| 30 | 7 | 0.72 |
| 40 | 7 | 0.6 |

ตารางที่ 2.5-3 ค่าของตัวคูณของการคืบเนื่องจากอายุของคอนกรีต ในขณะถ่ายแรงและระยะเวลาในการบ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| เวลาหลังจากถ่ายแรง วัน | สัดส่วนของการคืบสูงสุด AUC |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1 | 0.08 |
| 2 | 0.15 |
| 5 | 0.18 |
| 7 | 0.23 |
| 10 | 0.24 |
| 20 | 0.30 |
| 30 | 0.35 |
| 60 | 0.45 |
| 90 | 0.51 |
| 180 | 0.61 |
| 365 | 0.74 |
| จนสุดท้ายของการใช้งาน | 1.00 |

ตารางที่ 2.5-4 สัดส่วนของการคืบที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

2.5.2.2 การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต (Shrinkage Loss, SH)

$$SH = (USH)(SSF)(PSH)$$

$$PSH = (AUS)_t - (AUS)_{t1}$$

เมื่อ USH = การสูญเสียแรงดึงสูงสุดเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต
สำหรับคอนกรีตธรรมดา

$$USH = 1902.3 - 300E_c / 105 \geq 845.5 \text{ กก/ตร.ชม.}$$

สำหรับคอนกรีตมวลเบา

$$USH = 2888.6 - 100E_c / 105 \geq 845.5 \text{ กก/ตร.ชม.}$$

SSF = ตัวคูณเนื่องจากผลของขนาดและรูปร่างคาน

PSH = สัดส่วนการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตในระหว่างเวลา t_1 ถึง t

AUS = ค่าสัดส่วนของการกอดตัวของคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| เวลาหลังจากบ่มคอนกรีต | สัดส่วนของการหดตัวสูงสุด |
|-----------------------|--------------------------|
| วัน | AUS |
| 1 | 0.08 |
| 2 | 0.15 |
| 5 | 0.20 |
| 7 | 0.22 |
| 10 | 0.27 |
| 20 | 0.36 |
| 30 | 0.42 |
| 60 | 0.55 |
| 90 | 0.62 |
| 180 | 0.68 |
| 365 | 0.86 |
| จนสุดท้ายของการใช้งาน | 1.00 |

ตารางที่ 2.5-5 สัดส่วนของหดตัวของคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

| อัตราส่วนระหว่างปริมาตรและพื้นที่ผิว (V/S), ซม. | สัมประสิทธิ์การหดตัว |
|---|----------------------|
| | SSF |
| 2.54 | 1.04 |
| 5.08 | 0.96 |
| 7.62 | 0.86 |
| 10.16 | 0.77 |
| 12.70 | 0.69 |
| 15.24 | 0.6 |

ตารางที่ 2.5-6 ค่าตัวคูณของการหดตัวของคอนกรีตเนื่องจากขนาดและรูปร่างของคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.2.3 การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคลายแรงดึงของลวดอัดแรง (Steel Relaxation Loss, RE)

สำหรับลวดอัดแรงชนิดคลายแรงดึง (steel-relieved steel)

$$RE = f_{st} \left(\frac{\log 24t - \log 24t_1}{10} \right) \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0.55 \right)$$

สำหรับลวดอัดแรงชนิดคลายแรงดึงต่ำ (low-relaxation steel)

$$RE = f_{st} \left(\frac{\log 24t - \log 24t_1}{45} \right) \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0.55 \right)$$

เมื่อ t_1 = เวลาเริ่มต้นในการพิจารณาในแต่ละช่วง
 t = เวลาในขณะที่พิจารณา
 f_{st} = หน่วยอัดแรงในลวดอัดแรงในขณะที่พิจารณา
 f_{py} = กำลังรับแรงดึงของลวดอัดแรงที่จุดคราก



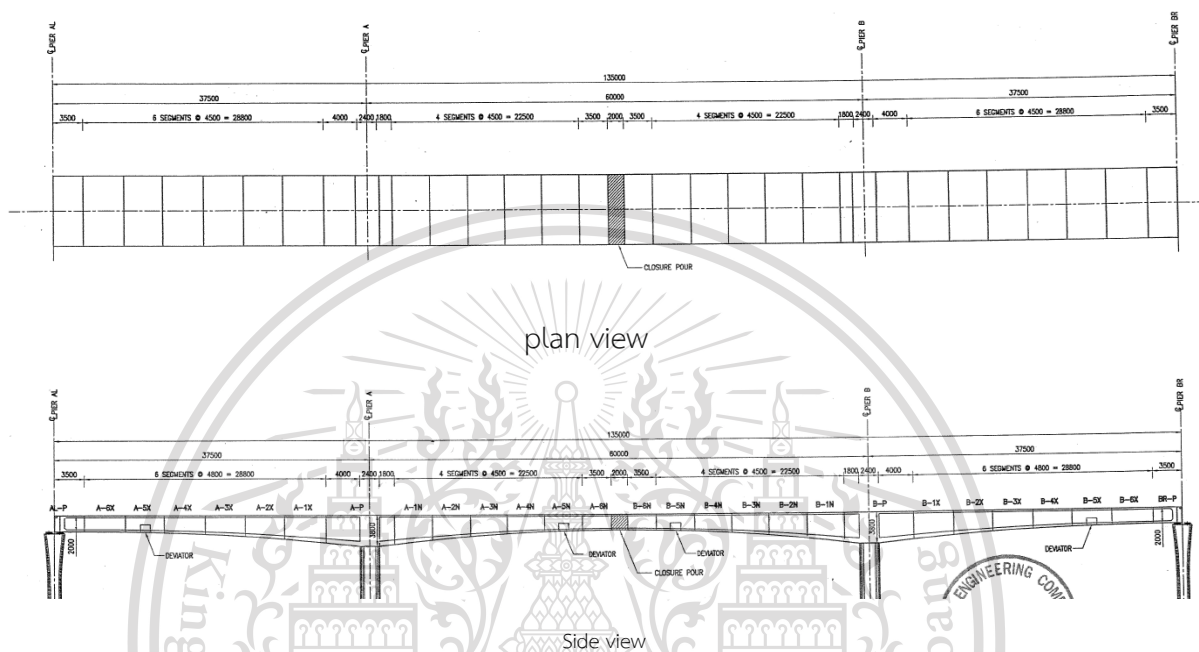
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 ลักษณะของสะพานรถไฟไฟฟ้าที่ก่อสร้างโดยวิธีคานยื่นสมดุลที่นำมาศึกษา

โครงสร้างสะพานรถไฟไฟฟ้าที่ก่อสร้างคานยื่นสมดุลที่นำมาศึกษามีทั้งหมด 3 span แบ่งเป็นช่วง Side span ยาวเท่ากับ 37.5 m. สองช่วง และช่วง Mid span ยาวเท่ากับ 60 m. ดังแสดงในรูปที่ 2.5-1



รูปที่ 2.6-1 แสดง segment layout ของสะพาน

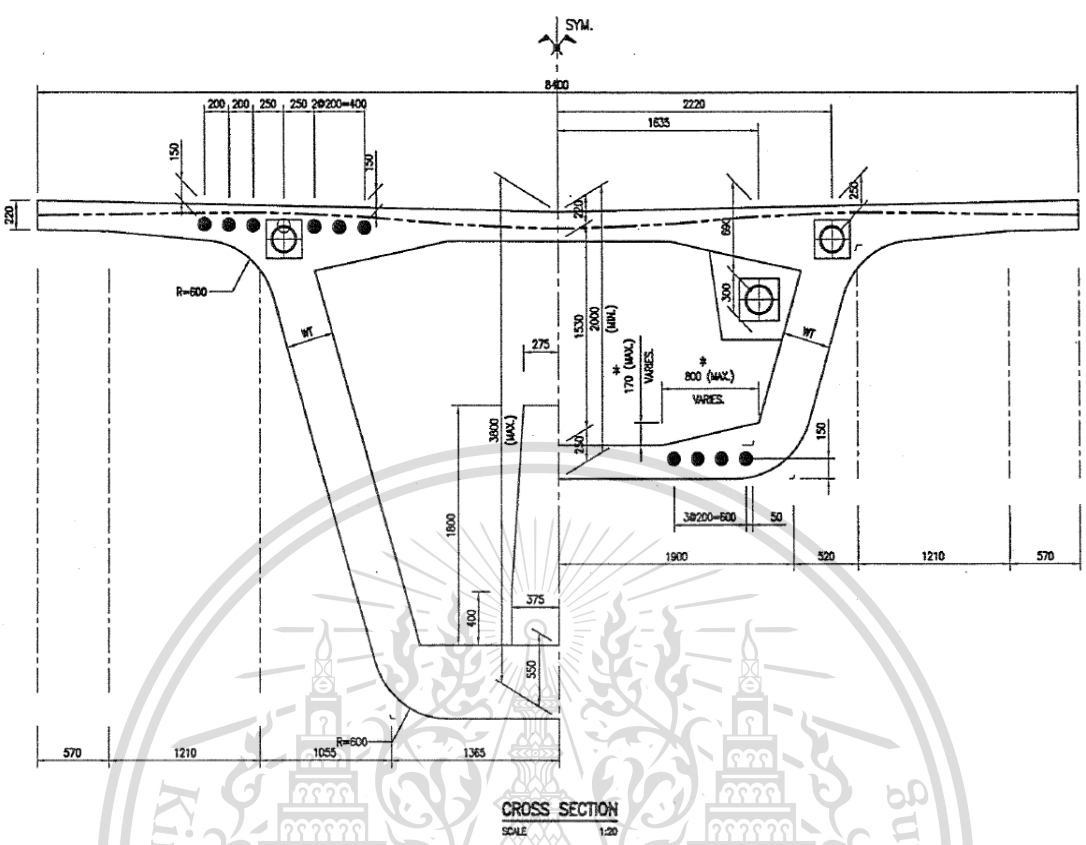
หมายเหตุ Side span คือด้านที่อยู่ด้านนอกของ Pier แต่ละต้น และ Mid span คือด้านที่อยู่ด้านในของ Pier แต่ละต้น

ในส่วนของหน้าตัดของสะพาน มีความกว้าง 8.40 เมตร สำหรับรองรับการติดตั้งรางรถไฟแบบรางคู่ หรือ Double track หน้าตัดที่มีความลึกมากที่สุดมีขนาด 3.80 เมตร ส่วนขนาดเล็กที่สุดมีขนาด 2.00 เมตร แสดงดัง รูปที่ 2.6-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



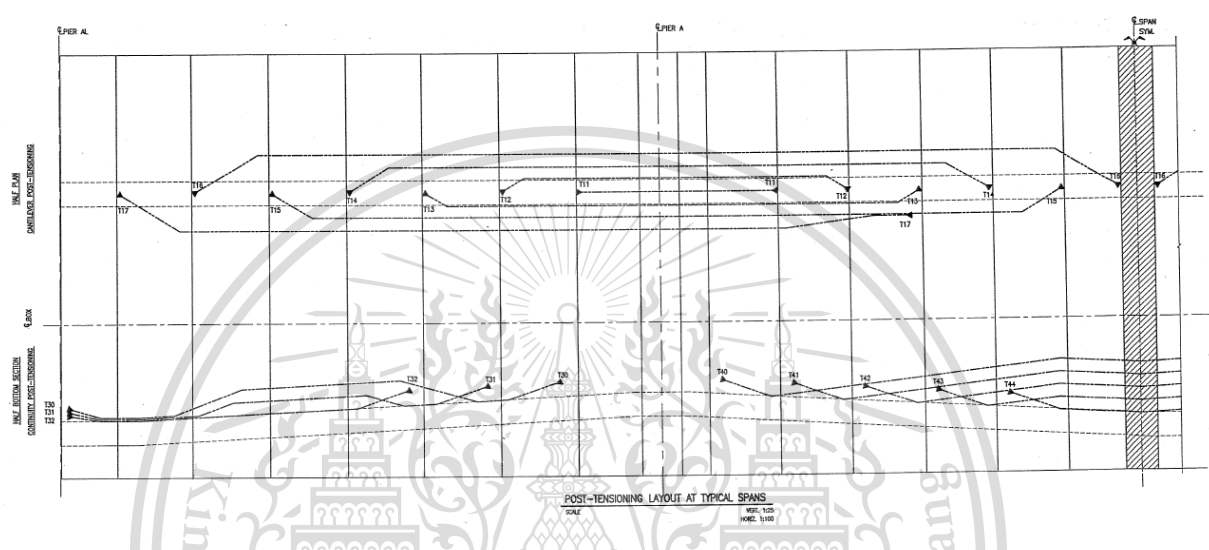
รูปที่ 2.6-2 Section wide 8.40 m. dept max 3.8 m min 2.00 m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

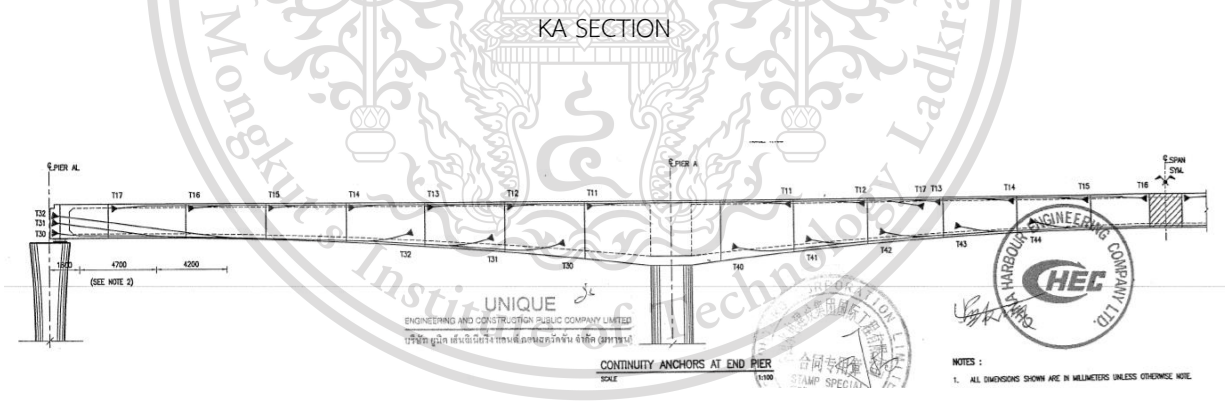
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ลวดอัดแรงของสะพานมีลวดอัดแรงข้างบนของหน้าตัดมีจำนวน 14 เส้น (ด้านซ้ายและขวาของ Flange หรือปีกหน้าตัดสะพาน) ลวดอัดแรงข้างล่าง ของฝั่ง Side span มีจำนวน 6 เส้น (รวมด้านซ้ายและขวาของหน้าตัด) และลวดอัดแรงข้างล่าง ของฝั่ง Mid span มีจำนวน 10 เส้น (รวมด้านซ้ายและขวาของหน้าตัด) ดังแสดงในรูปที่ 2.6-3 แสดง Top View ของลวดอัดแรง และ รูปที่ 2.6-4 แสดงรูปตัดด้านข้างของลวดอัดแรง



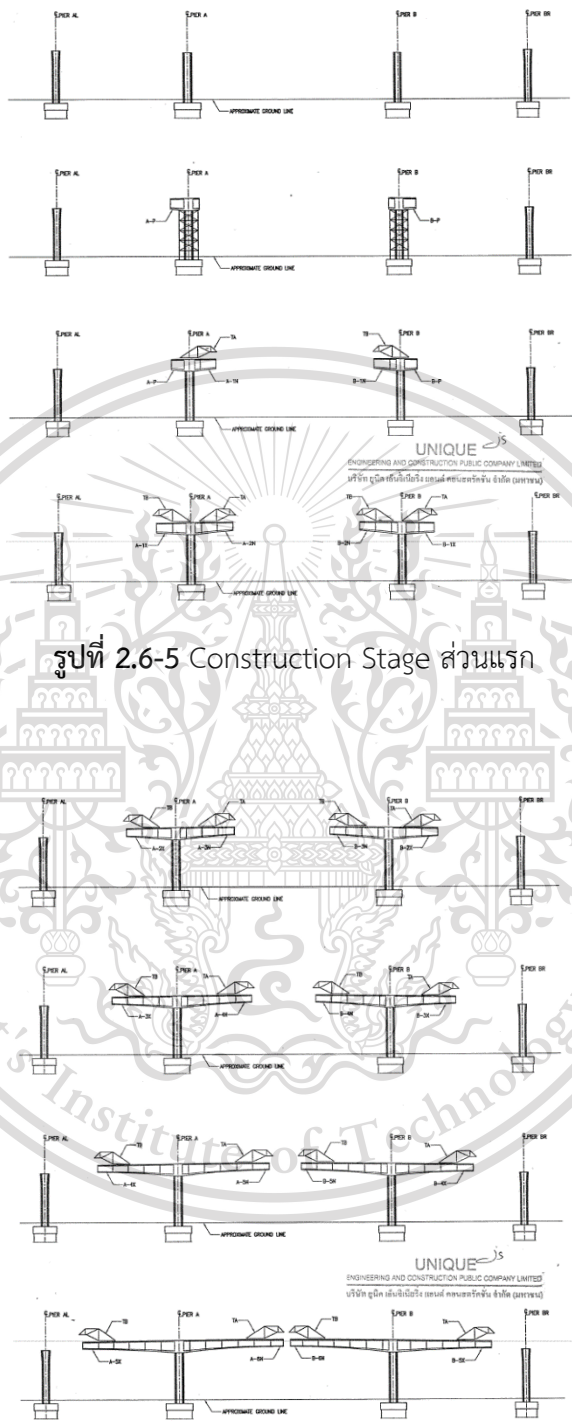
รูปที่ 2.6-3 plan Longitudinal tendon layout, BANGKOK MASS TRANSIT SYSTEM SAPHAN MAI – LAM LUK



รูปที่ 2.6-4 Longitudinal tendon layout, BANGKOK MASS TRANSIT SYSTEM SAPHAN MAI – LAM LUK KA SECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Construction Stage ของการก่อสร้างตามแบบเป็นไปตามรูปที่ 2.6-5 ถึง 2.6-7



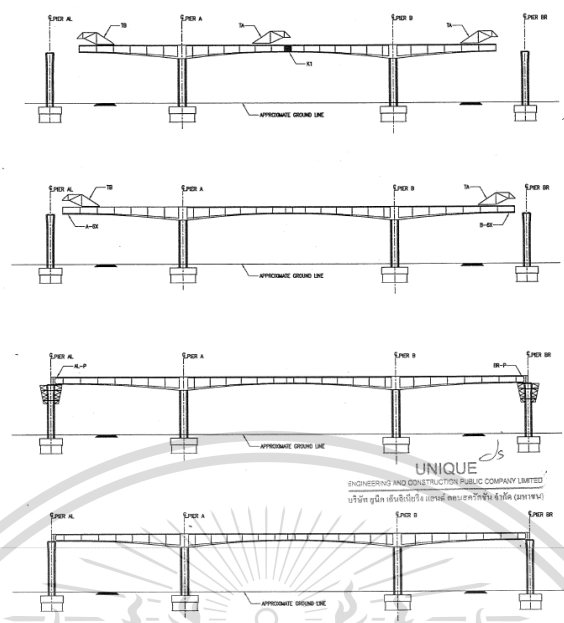
รูปที่ 2.6-5 Construction Stage ส่วนแรก

รูปที่ 2.6-6 Construction Stage ส่วนที่สอง

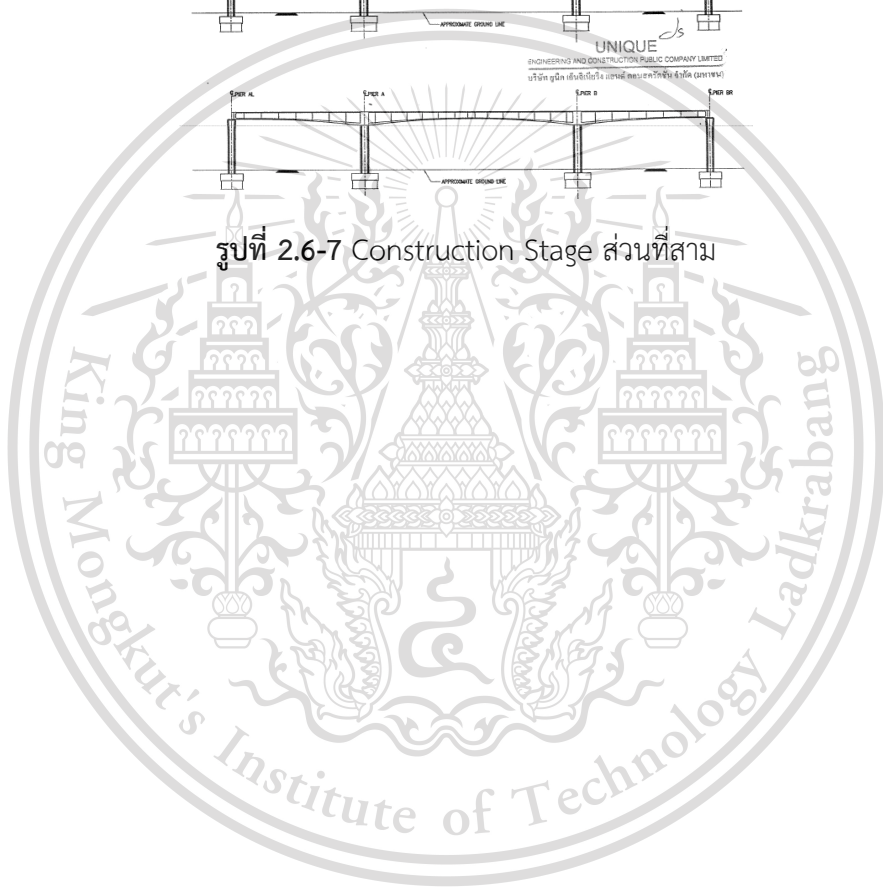
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.6-7 Construction Stage ส่วนที่สาม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในสะพานรถไฟฟ้าคานยี่นสมดุลที่นำมศึกษ

2.6.1.1 คุณสมบัติของคอนกรีต

สะพานที่วิเคราะห์เป็นสะพานคอนกรีตอัดแรงชนิดหล่อในที่ (Cast in situ segment) คอนกรีตที่ใช้ในงาน Superstructure ของสะพานมีกำลังรับแรงอัดประลัย (f_c') 400 ksc.

2.6.1.2 คุณสมบัติของลวดอัดแรง

ลวดอัดแรงที่ใช้ ลวดอัดแรงมาตรฐาน ASTM A416 Grade270 19 wires strands, low relaxation

2.6.1.3 คุณสมบัติของเหล็กเสริม

เหล็กเสริมที่ใช้ เป็นเหล็กมาตรฐาน SD40 กำลังดึงประลัยที่ 4000 ksc.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 ศึกษาทำความเข้าใจโครงสร้างจากแบบ

3.1.1 มาตรฐานการออกแบบ (Design Standard)

การออกแบบโครงสร้างสะพานคานยื่นสมดุลจะใช้ตัวข้อกำหนดตามมาตรฐานดังต่อไปนี้

1. ASSHTO LRFD Bridge Design Specification – SI Unit 2007
2. Moving load - AASHTO LRDF 2007
3. ACI318-2005 และ ACI358.1R-92)
4. CEB – FIP model code for concrete structures 1990, for time dependent behavior of concrete creep and shrinkage

3.1.2 วิธีการออกแบบ (Design Methodology) ของ ASSTHO LRFD

3.1.2.1 การออกแบบที่สภาวะสุดขีด (Limit State) ของ AASHTO LRFD

การออกแบบนั้นต้องมีความคงทนให้เพียงพอตลอดการใช้งานและครอบคลุมไปถึงความปลอดภัยของโครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกและการเสีรูปร่างอีกด้วย ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นทั้งในตอนก่อสร้างและใช้งานการออกแบบวิธี LRFD ได้พิจารณาสภาวะเป็น 4 สภาวะได้แก่

1. Service Limit State คือ สภาวะใช้งานปกติ โครงสร้างต้องสามารถใช้งานได้ โดยที่การโก่งไม่มากเกินไปและค่าหน่วยแรงไม่เกินหน่วยแรงขีดจำกัดกำลังต้านทานของโครงสร้าง
2. Fatigue Fracture Limit State คือ สภาวะที่โครงสร้างเกิดการล้า จากการที่น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ ๆ
3. Strength Limit State คือ สภาวะที่โครงสร้างถึงจุดประลัย การวิเคราะห์นี้ทำเพื่อคูนน้ำหนักบรรทุกที่เกินจะรับได้ของโครงสร้างก่อนที่จะพังลง
4. Extrem Event Limit State คือ สภาวะที่โครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกที่มีค่ารอบการเกิดซ้ำมากกว่าอายุของโครงสร้าง เช่น แผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2.2 การรวมแรง (Load Combination)

เนื่องจากแรงที่กระทำต่อโครงสร้างมีหลายประเภทและแรงเหล่านี้อาจจะไม่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กันในคราวเดียวกัน ASSHTO LRFD ได้แบ่งการคำนวณสภาวะใช้งานทั้ง 4 สภาวะได้ดัง ตารางที่ 3.1-1, 3.1-2

| Load Combination Limit State | DC DD DW EH EV ES EL | LL IM CE BR PL LS | WA | WS | WL | FR | TU CR SH | TG | SE | Use One of These at a Time | | | |
|------------------------------|--|----------------------------------|------|------|-----|------|----------------|---------------|---------------|----------------------------|------|------|------|
| | | | | | | | | | | EQ | IC | CT | CV |
| STRENGTH I (unless noted) | γ_p | 1.75 | 1.00 | — | — | 1.00 | 0.50/1.20 | γ_{TG} | γ_{SE} | — | — | — | — |
| STRENGTH II | γ_p | 1.35 | 1.00 | — | — | 1.00 | 0.50/1.20 | γ_{TG} | γ_{SE} | — | — | — | — |
| STRENGTH III | γ_p | — | 1.00 | 1.40 | — | 1.00 | 0.50/1.20 | γ_{TG} | γ_{SE} | — | — | — | — |
| STRENGTH IV | γ_p | — | 1.00 | — | — | 1.00 | 0.50/1.20 | — | — | — | — | — | — |
| STRENGTH V | γ_p | 1.35 | 1.00 | 0.40 | 1.0 | 1.00 | 0.50/1.20 | γ_{TG} | γ_{SE} | — | — | — | — |
| EXTREME EVENT I | γ_p | γ_{EQ} | 1.00 | — | — | 1.00 | — | — | — | 1.00 | — | — | — |
| EXTREME EVENT II | γ_p | 0.50 | 1.00 | — | — | 1.00 | — | — | — | — | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| SERVICE I | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.30 | 1.0 | 1.00 | 1.00/1.20 | γ_{TG} | γ_{SE} | — | — | — | — |
| SERVICE II | 1.00 | 1.30 | 1.00 | — | — | 1.00 | 1.00/1.20 | — | — | — | — | — | — |
| SERVICE III | 1.00 | 0.80 | 1.00 | — | — | 1.00 | 1.00/1.20 | γ_{TG} | γ_{SE} | — | — | — | — |
| SERVICE IV | 1.00 | — | 1.00 | 0.70 | — | 1.00 | 1.00/1.20 | — | 1.0 | — | — | — | — |
| FATIGUE LL, IM & CE ONLY | — | 0.75 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

ตารางที่ 3.1-1 แสดงการรวมแรง (Load Combination)

| Type of Load, Foundation Type, and Method Used to Calculate Downdrag | Load Factor | | |
|--|--|-------------|-------------|
| | Maximum | Minimum | |
| DC: Component and Attachments | 1.25 | 0.90 | |
| DC: Strength IV only | 1.50 | 0.90 | |
| DD: Downdrag | Piles, α Tomlinson Method | 1.4 | 0.25 |
| | Piles, λ Method | 1.05 | 0.30 |
| | Drilled shafts, O'Neill and Reese (1999) Method | 1.25 | 0.35 |
| DW: Wearing Surfaces and Utilities | 1.50 | 0.65 | |
| EH: Horizontal Earth Pressure | • Active | 1.50 | 0.90 |
| | • At-Rest | 1.35 | 0.90 |
| | • AEP for anchored walls | 1.35 | N/A |
| EL: Locked-in Erection Stresses | 1.00 | 1.00 | |
| EV: Vertical Earth Pressure | • Overall Stability | 1.00 | N/A |
| | • Retaining Walls and Abutments | 1.35 | 1.00 |
| | • Rigid Buried Structure | 1.30 | 0.90 |
| | • Rigid Frames | 1.35 | 0.90 |
| | • Flexible Buried Structures other than Metal Box Culverts | 1.95 | 0.90 |
| | • Flexible Metal Box Culverts | 1.50 | 0.90 |
| | ES: Earth Surcharge | 1.50 | 0.75 |

ตารางที่ 3.1-2 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกถาวร (Permanent Load)

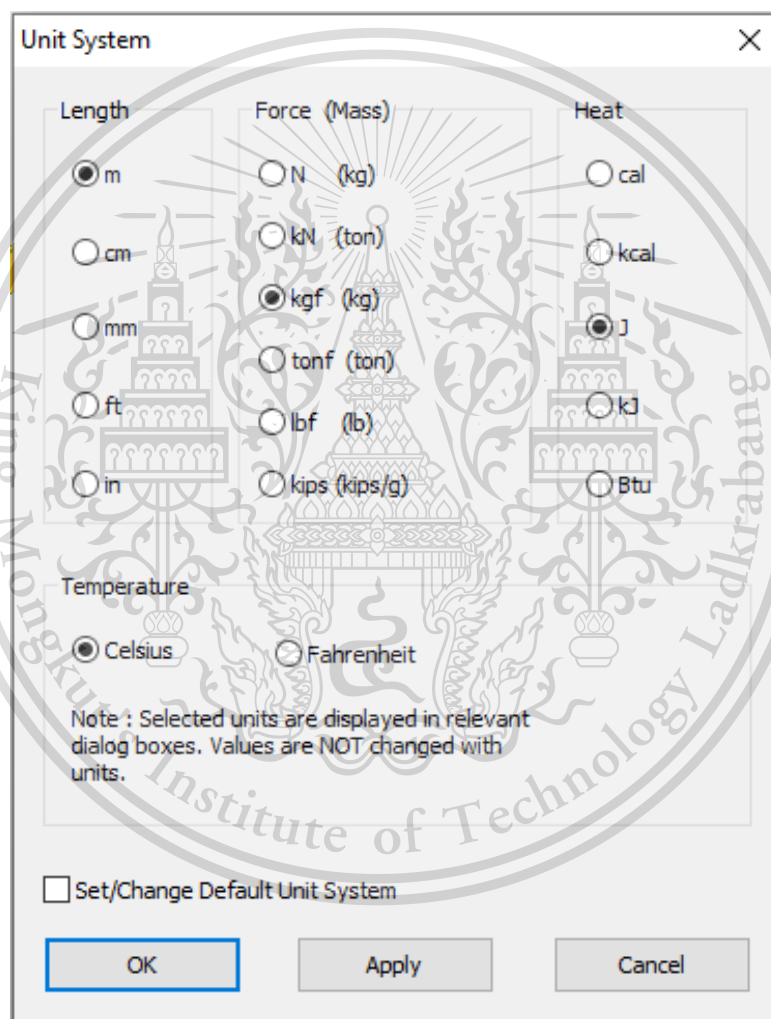
3.2 จำลองโครงสร้างสะพานจากแบบโดยใช้โปรแกรม Midas Civil

เปิดโปรแกรมเลือก File / New Project

File / Save (ตั้งชื่อ)

3.2.1 กำหนดหน่วยที่จะใช้ให้ตรงตามที่ต้องการ

ไปที่ Tool / Unit System แล้วกำหนดหน่วยให้เป็นไปตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.2-1 หน้าต่าง Unit System

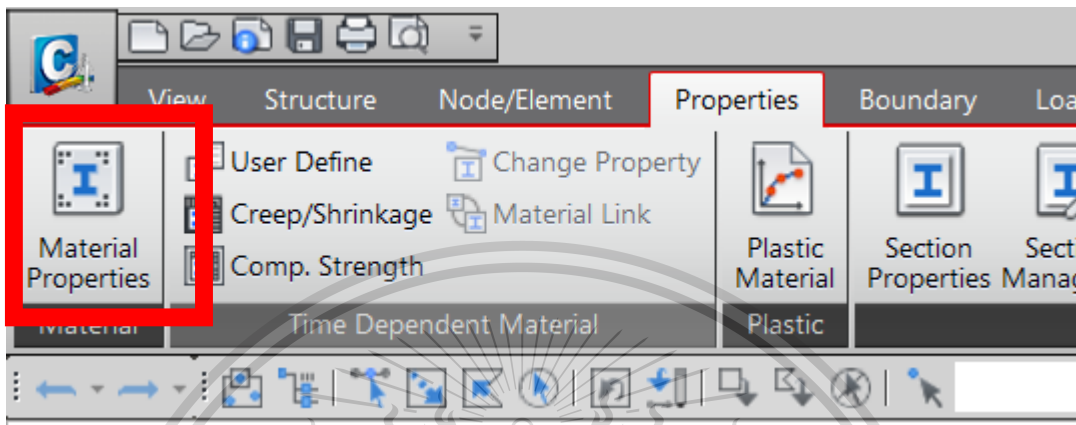
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

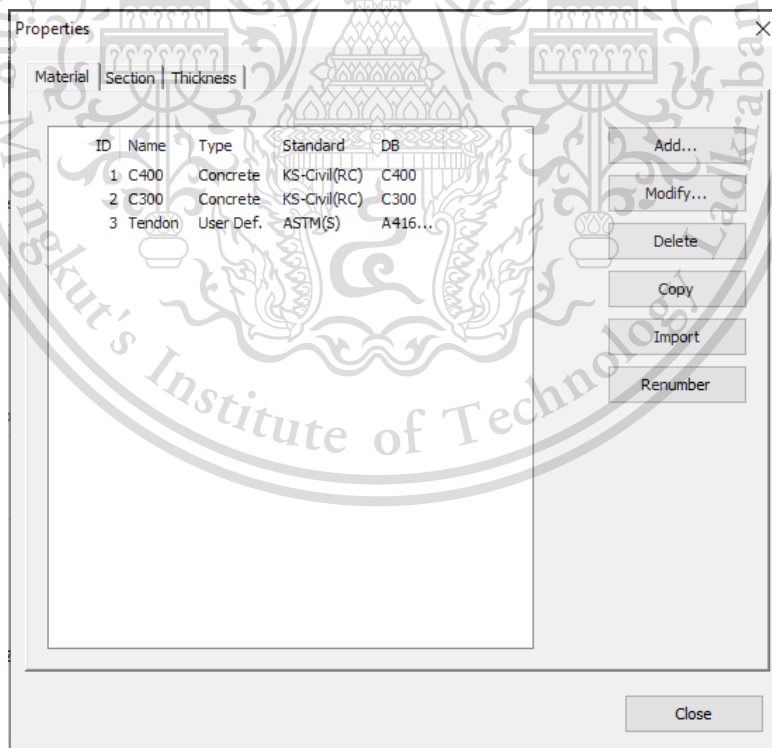
3.2.2 กำหนดคุณสมบัติของคอนกรีตและTendonที่จะใช้ออกแบบ

ไปที่ Properties/ Material Properties/ Material tab



รูปที่ 3.2-2 แสดง Properties Tab

เมื่อกดแล้วจะได้หน้าต่างดังนี้



รูปที่ 3.2-3 หน้าต่าง Material Properties ในส่วน Material tab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากนั้นเลือกปุ่ม Add... เพื่อกรอกข้อมูลดังรูป

รูปที่ 3.2-4 หน้าต่าง Material Data

โดยกรอกข้อมูลดังต่อไปนี้

สร้าง Concrete กำหนด Code เป็น KS-Civil(RC) ,DB C400 มี f_c' 400 KSC

สร้าง Tendon กำหนด Code เป็น ASTM,DB 270 low relaxation

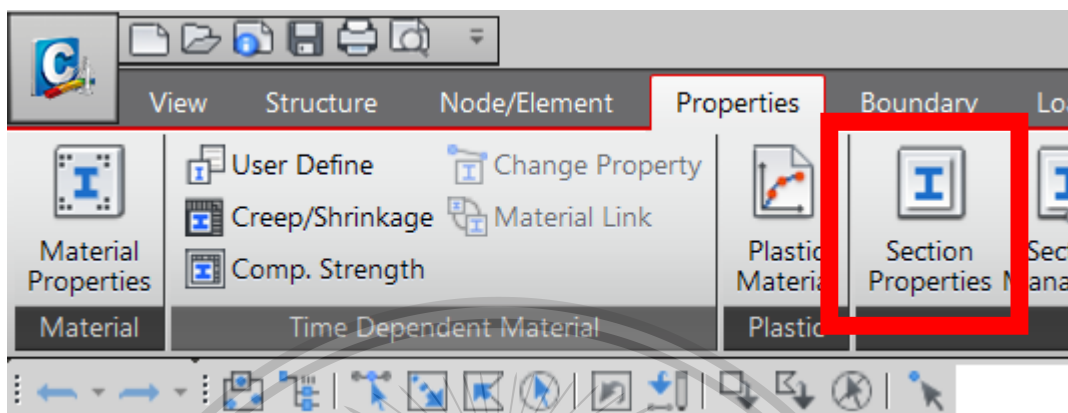
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

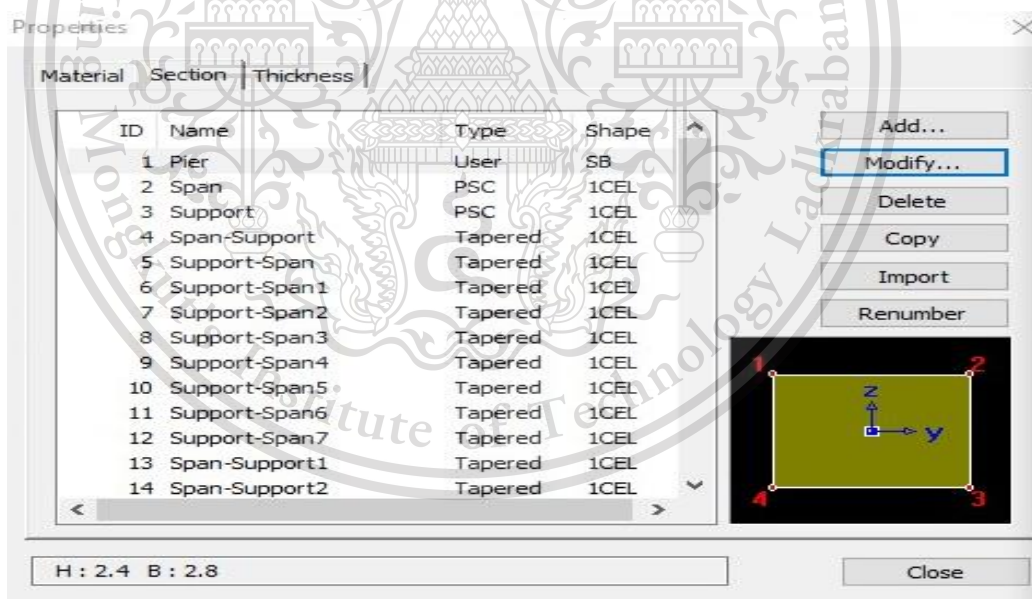
3.2.3 กำหนดขนาดของ Pier

ไปที่ Properties/ section Properties



รูปที่ 3.2-5 แสดง Properties Tab

จะได้หน้าต่างดังรูป



รูปที่ 3.2-6 หน้าต่าง Section Properties ในส่วน Section tab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

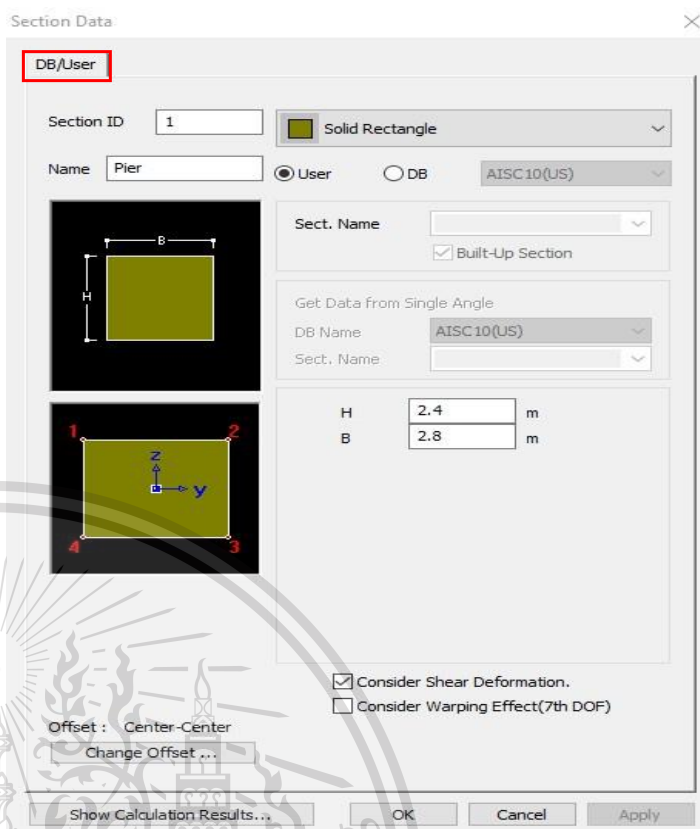
จากนั้นกด Add...

จะได้หน้าต่าง DB/User

แล้วเลือก DB/User tab

กำหนด Section ID 1 : ตั้งชื่อ (Pier)

กำหนดความยาวและความสูงของหน้าตัด



รูปที่ 3.2-7 หน้าต่าง Section Data

3.2.4 กำหนดคุณสมบัติและขนาดรูปร่าง Box girder ของ Span และ Support

ไปที่ Properties/ section Properties

เพื่อทำการกำหนดขนาดหน้าตัด

เลือก PSC tab เลือก PSC – 1Cell, 2CELL

กำหนด Section ID 2 : ตั้งชื่อ (Span)

กรอกค่าขนาดรูปร่างต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.2-8

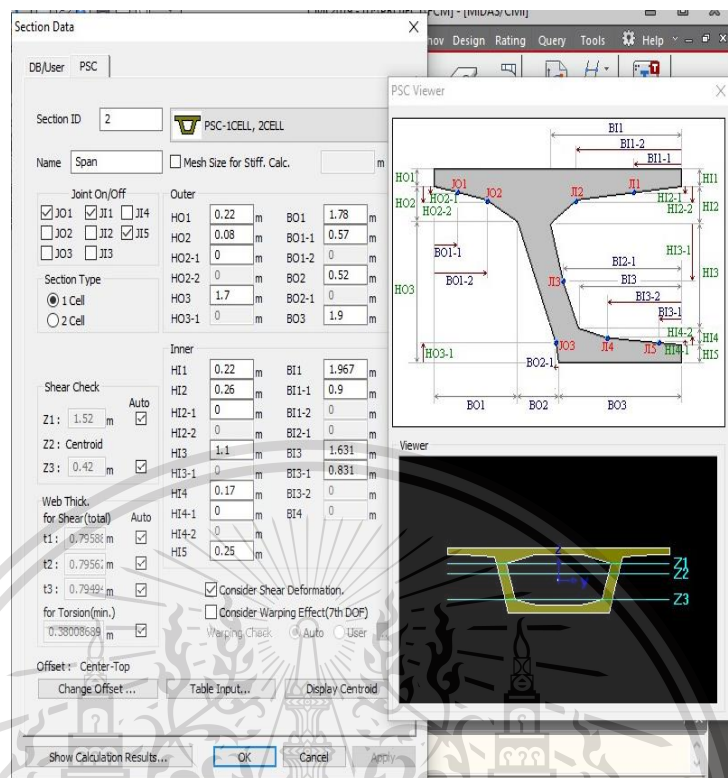
ทำเหมือนขั้นตอนที่ผ่านมาเพื่อ

กำหนด Section ID 3 : ตั้งชื่อ (Support)

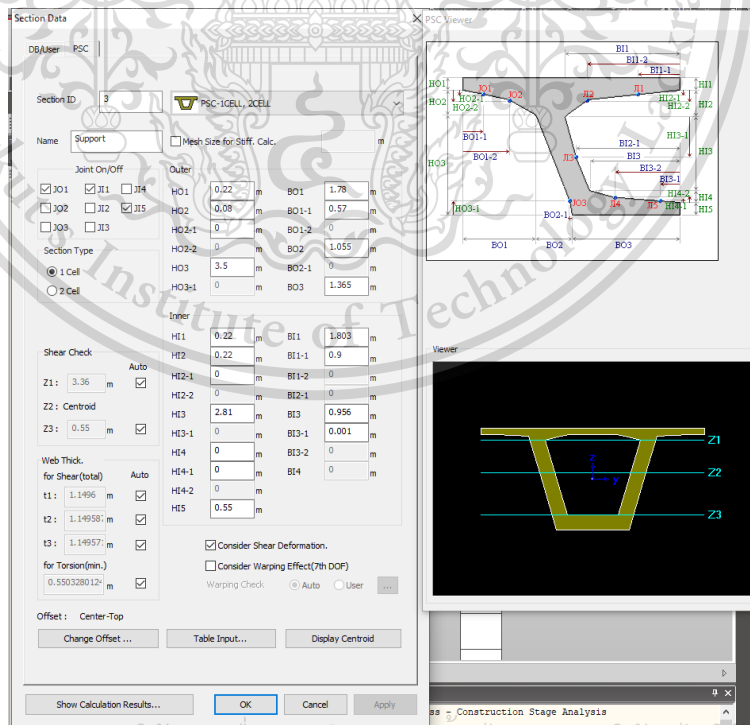
เอกสารนี้เป็นเอกสารก่อกำหนดค่าขนาดรูปร่างต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.2-9 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2-8 หน้าต่างแสดง Section Span ในส่วน PSC Tab



รูปที่ 3.2-9 หน้าต่างแสดง Section Support ในส่วน PSC Tab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.5 สร้างหน้าตัดโดยใช้คำสั่ง Tapered

หลังจากสร้างหน้าตัดหลัก โดยกำหนดขนาดค่าต่างๆของรูปตัด Box girder ที่ Support และที่ Span ของสะพานเสร็จแล้ว คำสั่งนี้จะช่วยลดเวลาการทำงานที่เราจะต้องมากรอกค่าสร้างหน้าตัดสะพานที่อยู่ระหว่าง Support ถึง Span หรือระหว่าง Span ถึง Support โดยโปรแกรมจะสร้างหน้าตัดขนาด Box girder ที่อยู่ระหว่าง Middle Span และ Support ขึ้นมาโดยใช้คำสั่ง Tapered

โดย คลิกปุ่ม Properties/ Section

เลือก Tapered tab

สร้าง Section : Span-Support

กำหนด Size-I > Import Span

Size-J > Import Support

สร้าง Section : Support-Span

กำหนด Size-I > Import Support

Size-J > Import Span

รูปที่ 3.2-10 หน้าต่าง Section Data ในส่วน Tapered Tab

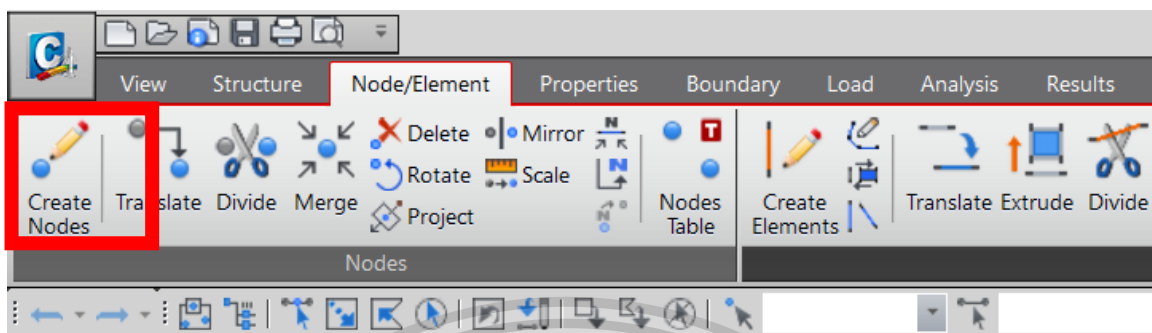
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.6 กำหนดตำแหน่งของ node เพียงครั้งเดียวของโมเดลทั้งหมด

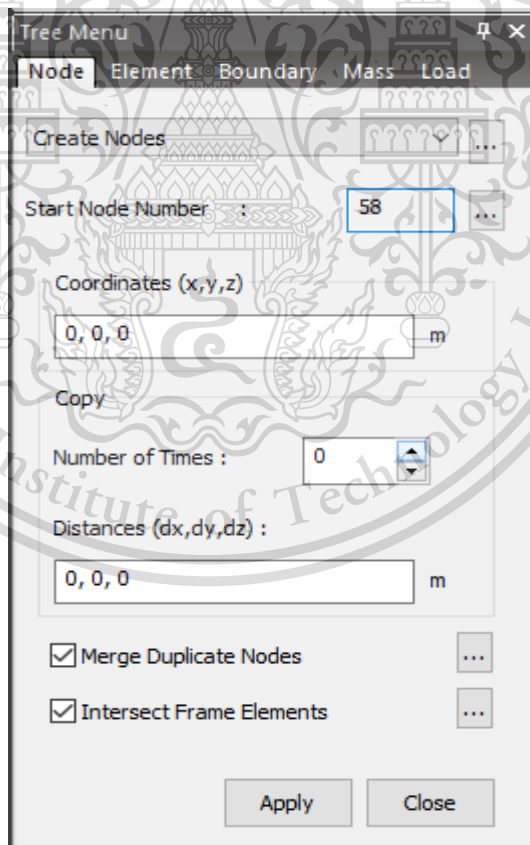
กด Create Nodes ใน Node/Element Tab



รูปที่ 3.2-11 แสดง Node/Element Tab

จะได้หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Node Tab / Create Nodes ขึ้นมา

โดยหน้าต่างนี้เราจะกำหนด Node ที่เป็นจุดอ้างอิงที่ก่อดเริ่มต้น Coordinate (x, y, z) --> (0, 0, 0)



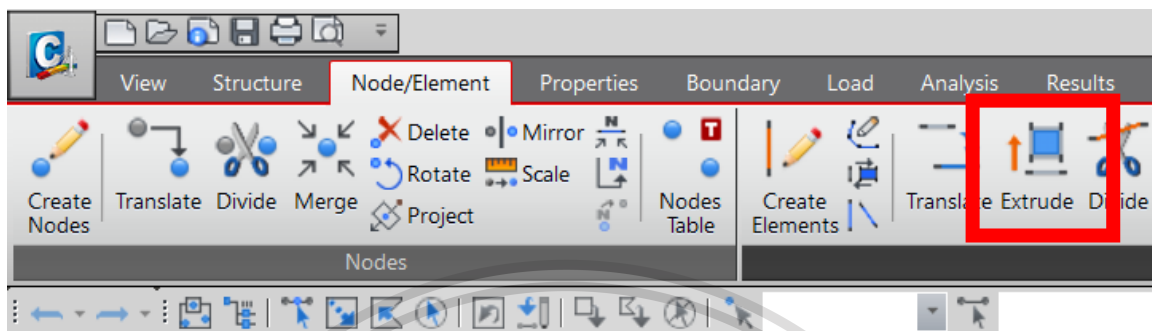
รูปที่ 3.2-12 หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Node Tab / Create Nodes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต่อมากำหนดตำแหน่งของ node เพียงครั้งเดียวของโมเดลทั้งหมดโดยกด Extrude ใน Node/Element Tab



รูปที่ 3.2-13 แสดง Node/Element Tab

จะได้หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Element Tab / Extrude Element ขึ้นมา โดยหน้าต่างนี้เราจะกำหนด Node ตามลักษณะของสะพานไปตามระยะของชั้นส่วนโครงสร้างในแนวแกน X ไปจนครบครึ่งหนึ่ง จากจุดอ้างอิงพิกัดเริ่มต้น $(x, y, z) \rightarrow (0, 0, 0)$

กด Select All node ทั้งหมด

ช่อง Extrude Type>Node > เลือก Line Element ; ช่อง Element Type> เลือก Beam

ช่อง Material> เลือก 1:Grade C400 ; ช่อง Section> เลือก 2: Span

ช่อง Generation Type> เลือก Translate ; ช่อง Translation> เลือก Unequal Distance ;

ช่อง Axis> เลือกทิศทาง x ;

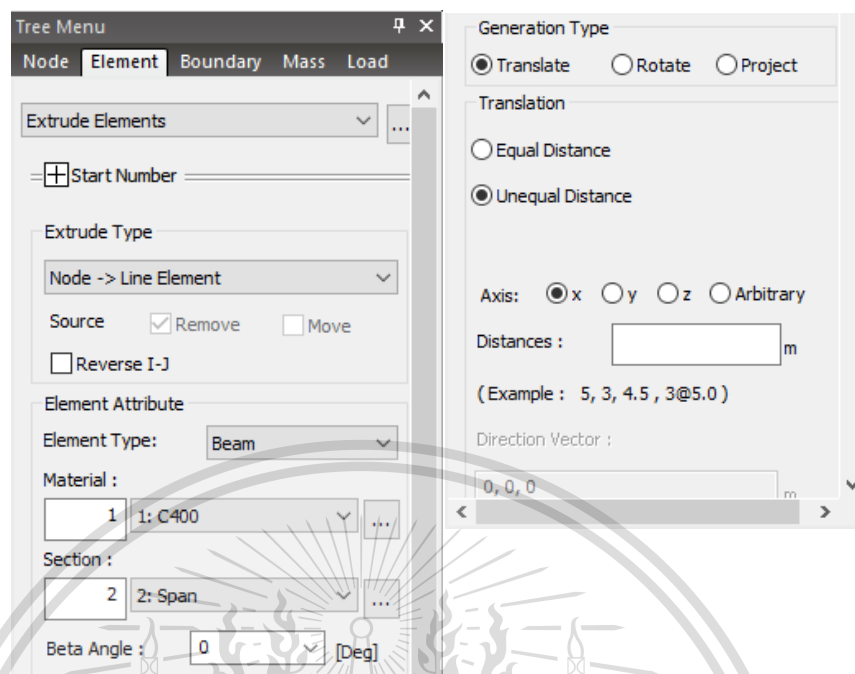
ช่อง Distances ใส่ค่าระยะชั้นส่วนดังนี้ (1.35, 2.15, 6@4.8, 4, 2@1.2, 1.8, 5@4.5, 3.5, 1)

แสดงในรูปที่ 3.2-13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2-14 หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Element Tab / Extrude Element

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.7 สร้าง node อีกครั้งหนึ่งของโมเดล

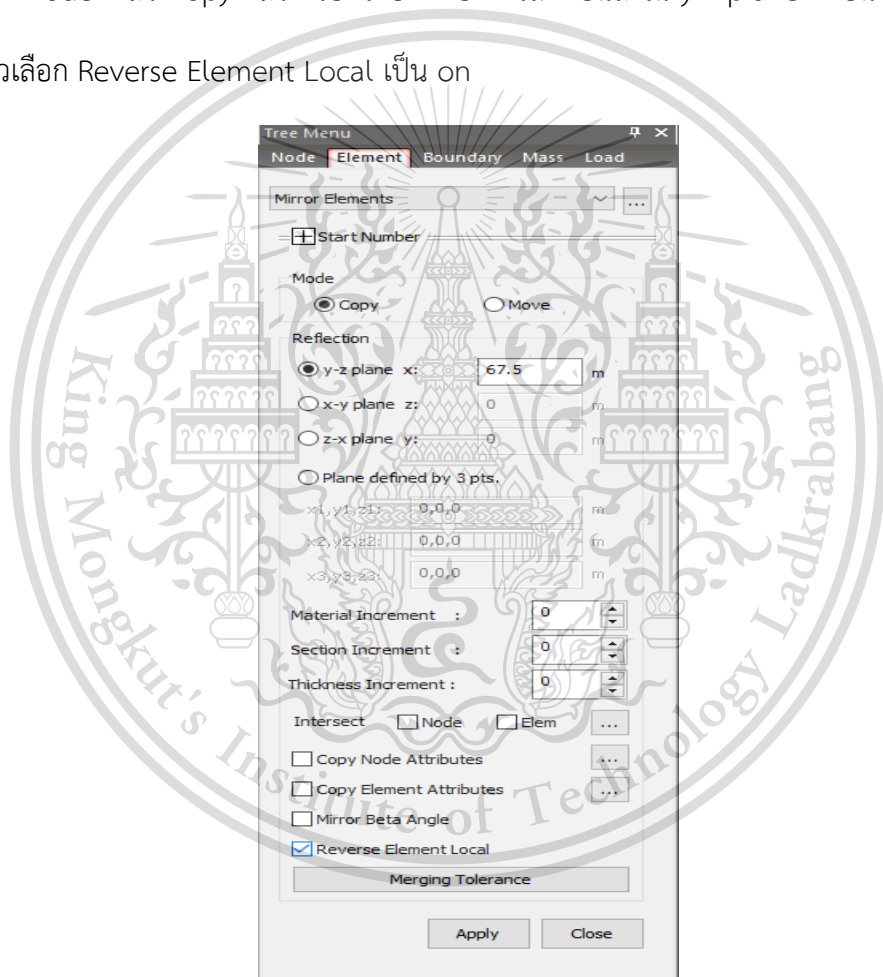
เมื่อสร้าง mode โมเดลได้ครั้งหนึ่งแล้วให้ใช้คำสั่งสะท้อนอีกครั้งที่สมมาตรของสะพาน เพื่อให้เต็ม
เต็มตัวโมเดลให้สมบูรณ์

คลิก Model/ Element/ Mirror Elements

จากนั้นเลือก Select all

ไปที่ Model แล้ว Copy แล้ว กรอกระยะที่ต้องการสะท้อนลงใน y-z plane x เป็น 67.5 เมตร

แล้วเลือก Reverse Element Local เป็น on



รูปที่ 3.2-15 หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Element Tab / Mirror Element

เมื่อทำเสร็จจะได้ Node โมเดลสะพานครบตามแบบที่มี Section properties ของ Span อย่างเดียว
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.8 ทำการจัดกลุ่มของ Section

จากขั้นตอนที่ผ่านมาเราจะได้โมเดลสะพานที่มี Section properties ของ Span อย่างเดียว ขั้นตอนนี้จะคือการที่เรากำหนดว่าแต่ละ Element ของโมเดลที่เราสร้างจะเป็นส่วนไหน

เปิดหน้าต่าง Tree Menu> เลือก Works tab

เลือก Element ที่เป็น Support โดยกด Identity-Elements (10to11 29to30.)

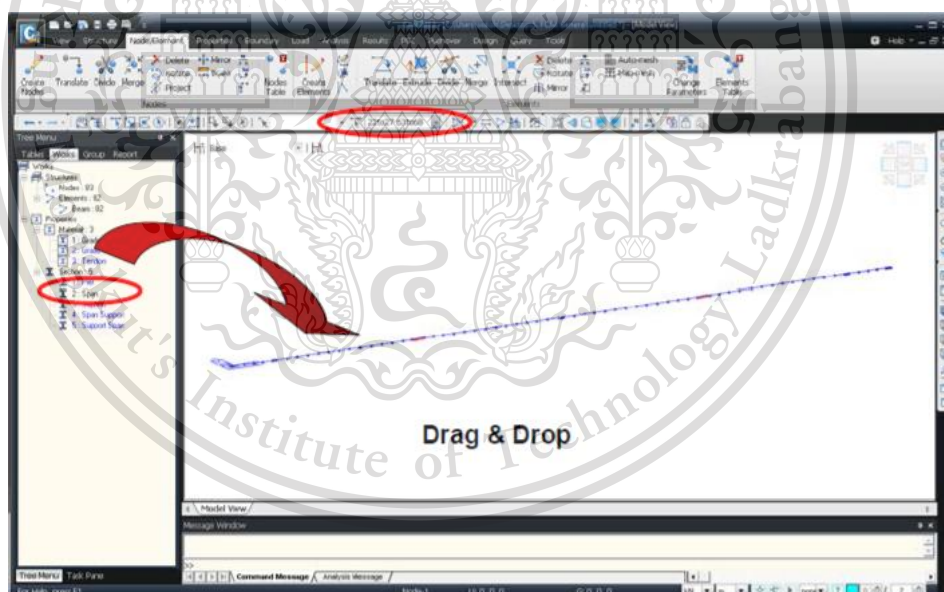
Works>Properties>Section>3: Support กดลากแล้ววาง (Drag & Drop)

เลือก Element ที่เป็น Span-Support โดยกด Identity-Elements (3to9 21to27)

Works>Properties>Section>4: Span-Support กดลากแล้ววาง (Drag & Drop)

เลือก Element ที่เป็น Support-Span โดยกด Identity-Elements (12to18 28to34)

Works>Properties>Section>5: Support-Span กดลากแล้ววาง (Drag & Drop)



รูปที่ 3.2-16 การลาก Section Properties และวางลงบน Element ที่เลือก

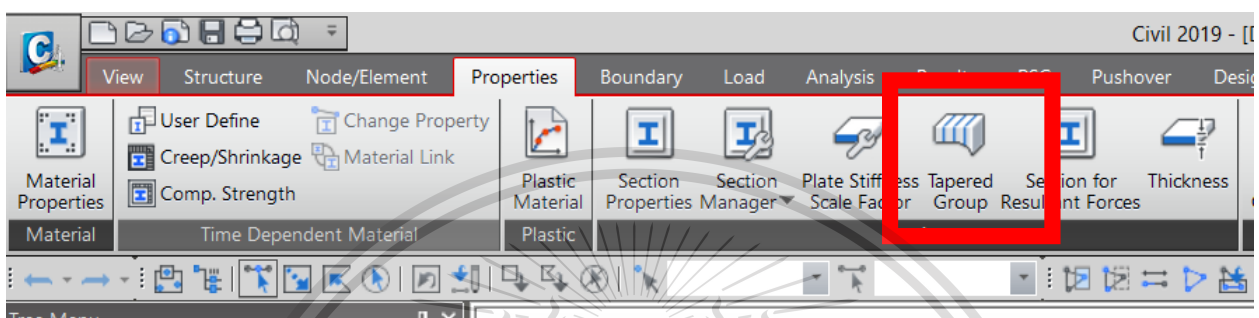
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

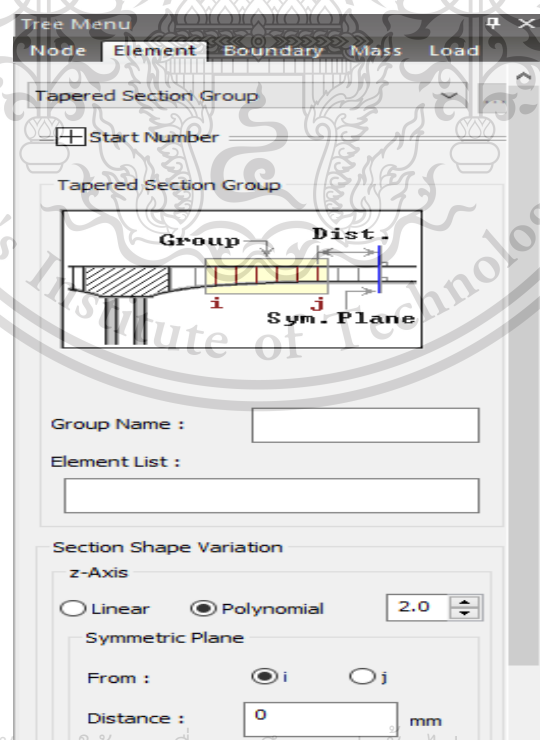
3.2.9 ทำการแปลง Section และกำหนด Polynomial

เนื่องจากที่ผ่านมา Section ถูกจัด Section Properties เป็นแบบต่าง ๆ แล้วแต่ยังไม่ได้แปลง Section ให้ต่อเนื่องกันโดยกำหนด Polynomial ของชิ้นส่วนที่นำมาต่อกันให้เป็นลักษณะโค้งตามแนวแกน Z โดยเริ่มจาก Properties Tab แล้วเลือก Tapered Section Group



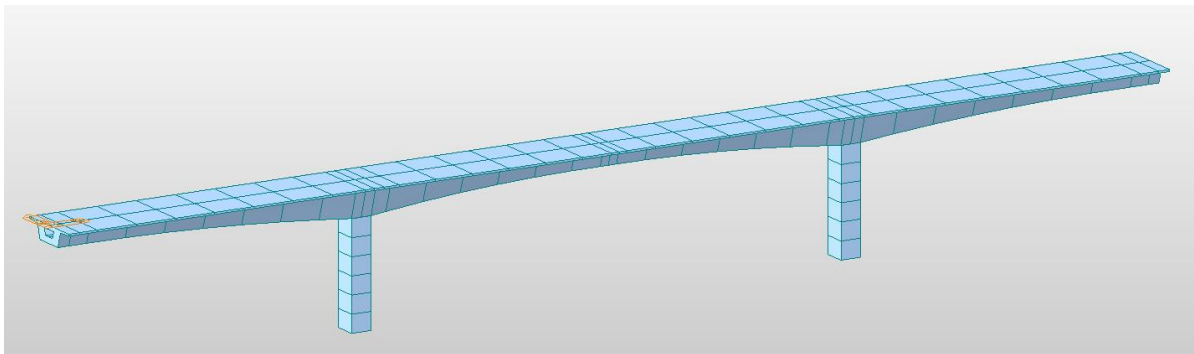
รูปที่ 3.2-17 แสดง Properties Tab

จากนั้นให้กำหนด Group Name เช่น 1stspan แล้วกำหนดช่วง Element List เช่น 3 to 9 ที่ 1stspan และกำหนด Polynomial ทำไปเรื่อยๆจนครบทุกช่วง ซึ่งในที่นี้มีทั้งหมด 3 ช่วงคือ 1stspan 2ndspan และ 3rdspan เมื่อทำครบเลือก Convert to Tapered Section จะได้โมเดลที่เสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 3.2-18 หน้าต่าง Tapered Section Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2-19 โมเดลสะพานแบบ 3D



รูปที่ 3.2-20 รูปด้านข้างโมเดลสะพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

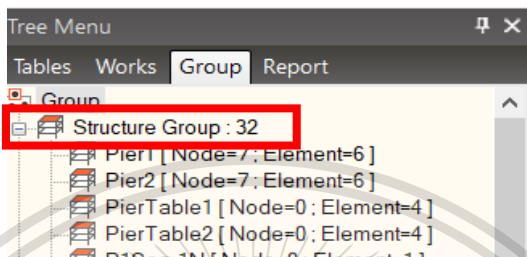
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 สร้างและกำหนด Structure Group

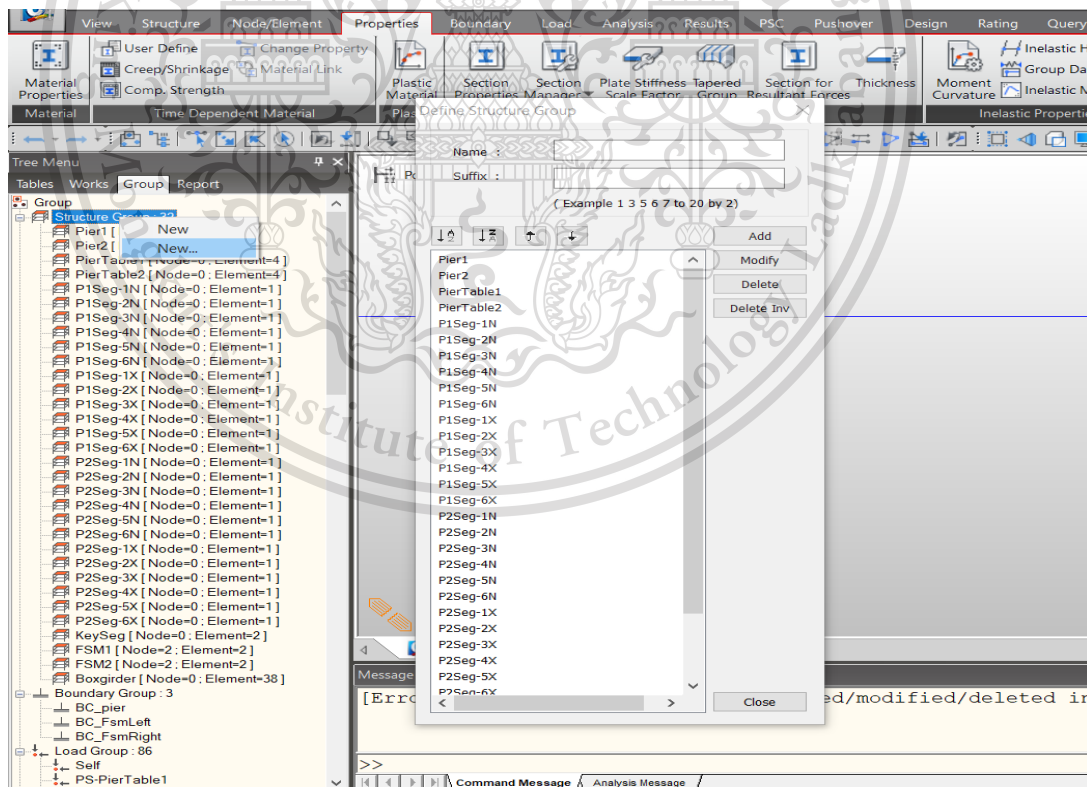
3.3.1 เพิ่ม Structure Group

เริ่มจากไปที่ Tree Menu แล้วไปเลือก Group Tap



รูปที่ 3.3-1 หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Structure Group

จากนั้น คลิกขวาที่ Structure Group แล้วเลือก New... จะสามารถกดเพิ่มชื่อของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างสะพานที่นำมาศึกษาได้เช่น PierTable1, PierTable2 เป็นต้น ดังรูปที่ 3.3-2



รูปที่ 3.3-2 หน้าต่าง Define Structure Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4 สร้าง Boundary Groups และกำหนด Support

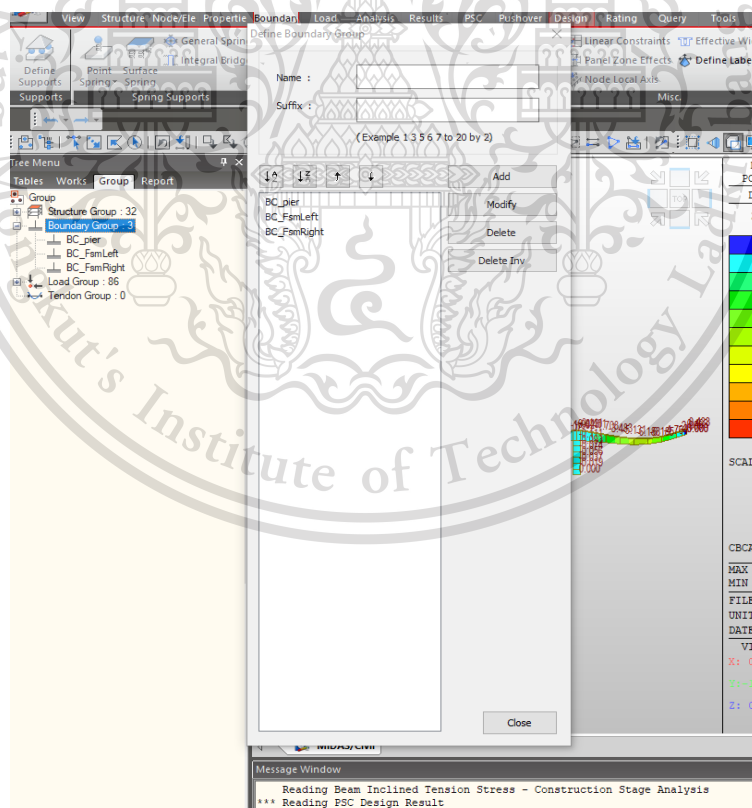
3.4.1 เพิ่ม Boundary Groups

เริ่มจากไปที่ Tree Menu แล้วไปเลือก Group Tap



รูปที่ 3.4-1 หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Boundary Group

คลิกขวาที่ Group Boundary แล้วเลือก New... จะสามารถกดเพิ่มชื่อของส่วนรองรับต่าง ๆ ของโครงสร้างสะพานที่นำมาศึกษาคือ BC_Pier, BC_FsmLeft, BC_FsmRight ดังรูปที่ 3.4-1



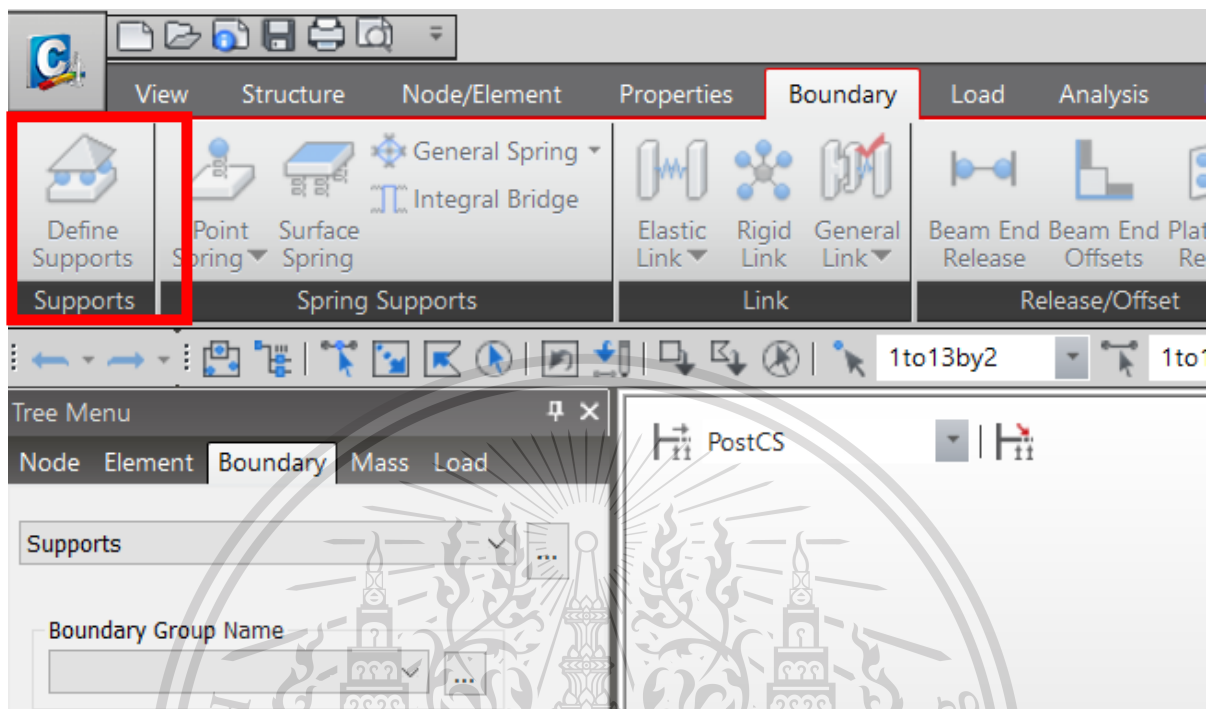
รูปที่ 3.4-2 แสดงการสร้าง Boundary Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อทำเสร็จแล้วให้ไปที่ Boundary Tab แล้วเลือก Define Supports



รูปที่ 3.4-3 แสดง Boundary Tab

จากนั้น กดเครื่องหมาย  แล้วคลิก Node ที่ต้องการให้เป็น Support โดยที่ปลายทั้งสองข้าง กำหนดให้เป็น roller ที่ pier ให้เป็น Fixed

Node ขวาสุด เลือกให้เป็น Boundary Group Name: BC_FsnRight

Support Type>Dy (on), Dz (on), Rx (on) and Rz (on)

Node ซ้ายสุด เลือกให้เป็น Boundary Group Name: BC_FsmLeft

Support Type>Dy (on), Dz (on), Rx (on) and Rz (on)

Node ที่เป็นเสา Pier เลือกให้เป็น Boundary Group Name: BC_Pier

Support Type>D-All (on) and R-All (on)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

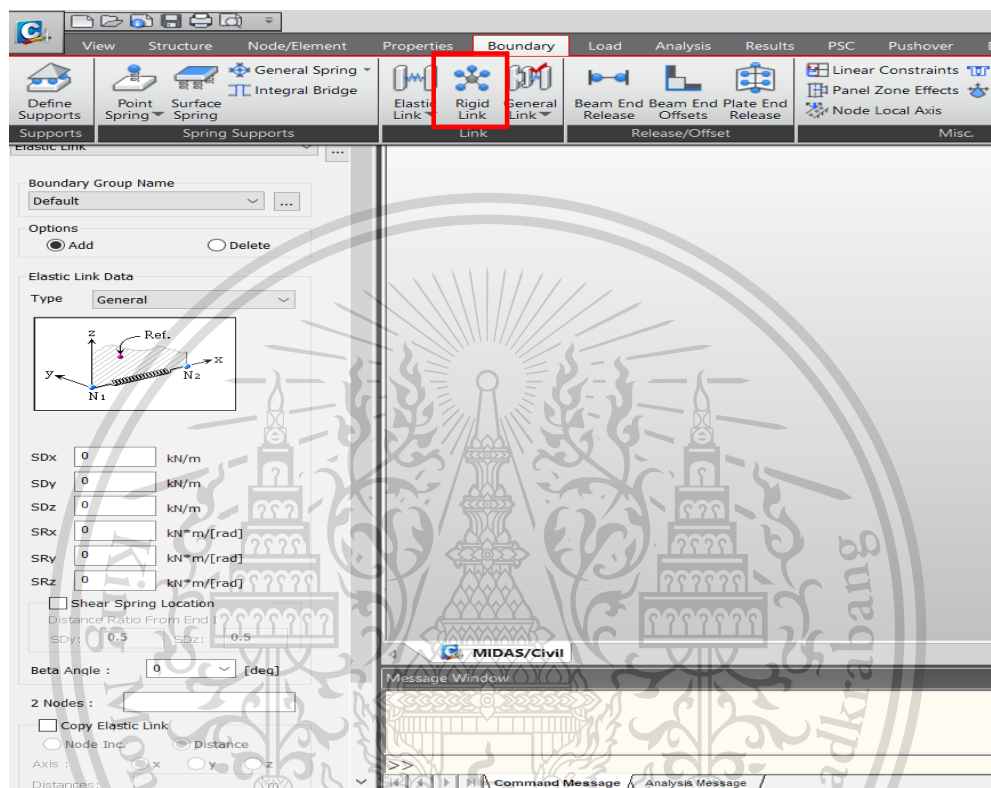
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หลังจากนั้น ไปที่ Boundary Tab แล้วเลือกคำสั่ง Elastic Link

แล้วเลือก BC_Pier จากนั้นกำหนด Link Type เป็น Rigid Link และกด on ที่ Copy Elastic Link

และกำหนด node ที่จะ Link กับ Support



รูปที่ 3.4-4 แสดงการกำหนด Rigid Link

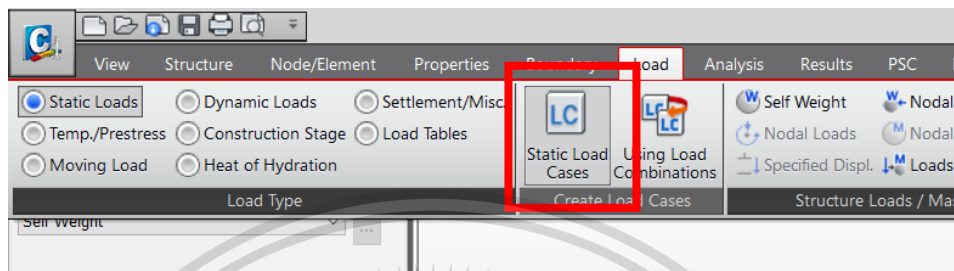
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

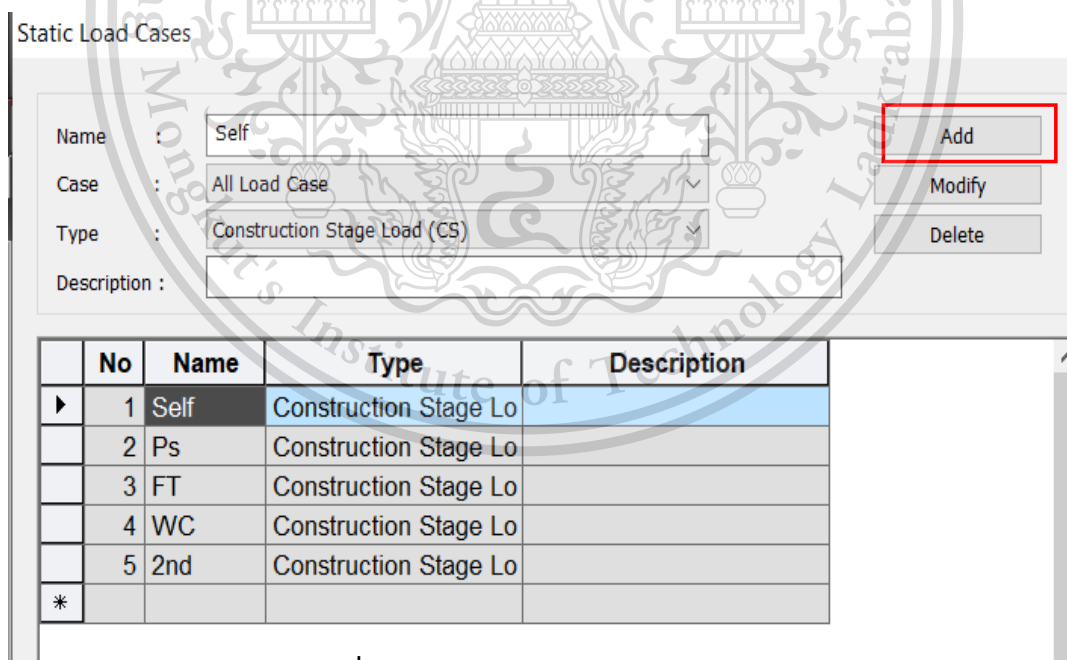
3.5 Assign Load Group

เริ่มจากกำหนดชนิดของ Load และตั้งชื่อ Load โดยการ คลิก Load Tab แล้วเลือก Static Loads Option หลังจากนั้นคลิกปุ่ม Static Load Cases



รูปที่ 3.5-1 แสดง Load Tab

หลังจากนั้นให้ตั้งชื่อ Load แล้วกำหนด Case และ Type ของ Load แต่ละชนิด เมื่อกรอกครบแล้วให้กดปุ่ม Add แล้วทำเหมือนเดิมจน กำหนด Load ครบทุกชนิด ตามรูปที่ 3.5-2



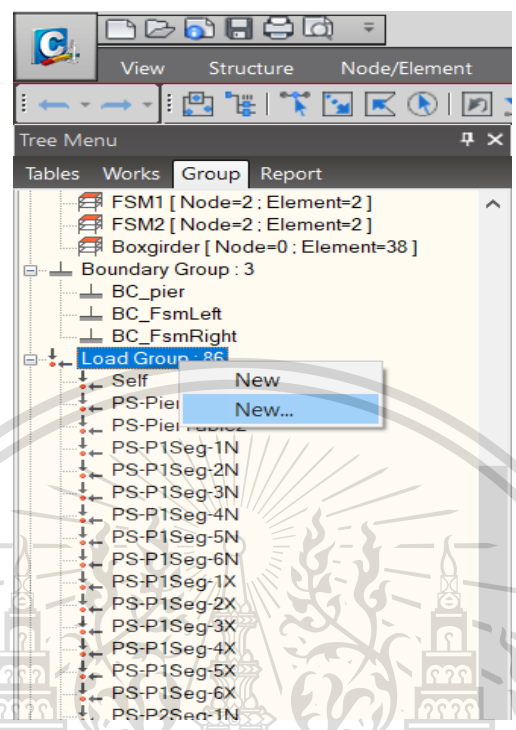
รูปที่ 3.5-2 แสดงการกำหนด Load Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

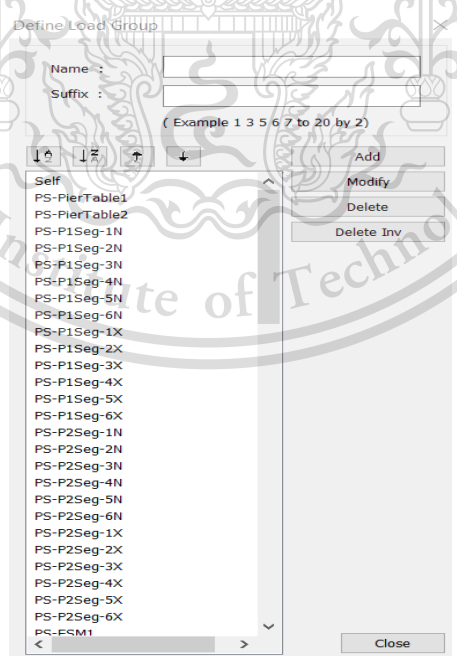
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หลังจากนั้น ไปที่ Group Tab แล้วคลิกขวาที่ Load Group แล้วเลือก New ดังรูป.....



รูปที่ 3.5-3 หน้าต่าง Tree Menu ในส่วน Load Group

เมื่อคลิกปุ่ม New ให้กำหนดชื่อ และ Suffix แล้วคลิกปุ่ม Add แล้วทำแบบนั้นจนครบทุก Load ดังแสดงในรูปที่ 3.5-4



รูปที่ 3.5-4 แสดงการสร้าง Load Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

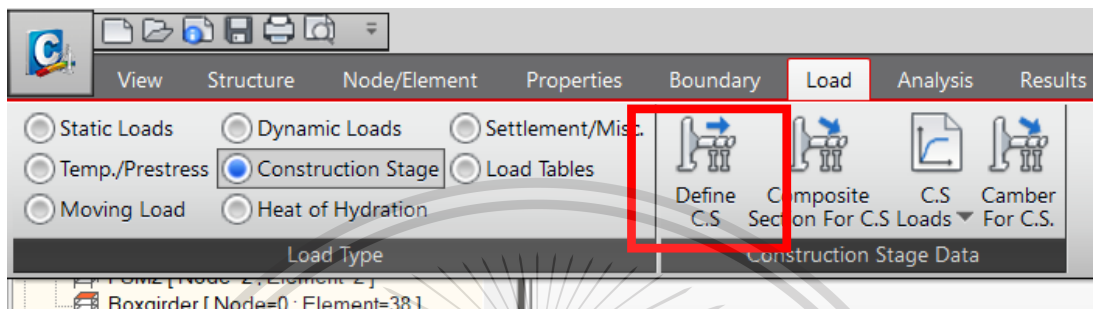
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.6 Define Construction Stages

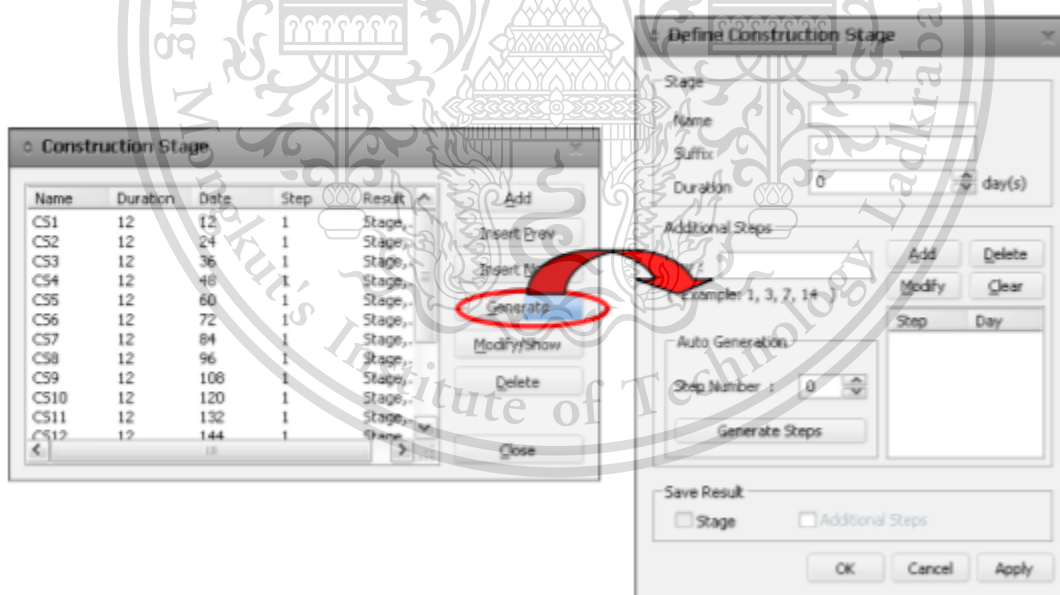
3.6.1 สร้าง Construction Stages

เริ่มจาก เลือก Load Tab แล้วไปที่ Construction Stage option แล้วเลือก Define C.S.



รูปที่ 3.6-1 แสดง Load Tab

หลังจากนั้นกด Generate แล้วกำหนด Stages ให้ครบ ในที่นี้คือ Stage ที่ 1 ถึง Stage ที่ 11



รูปที่ 3.6-2 หน้าต่าง Define Construction Stage

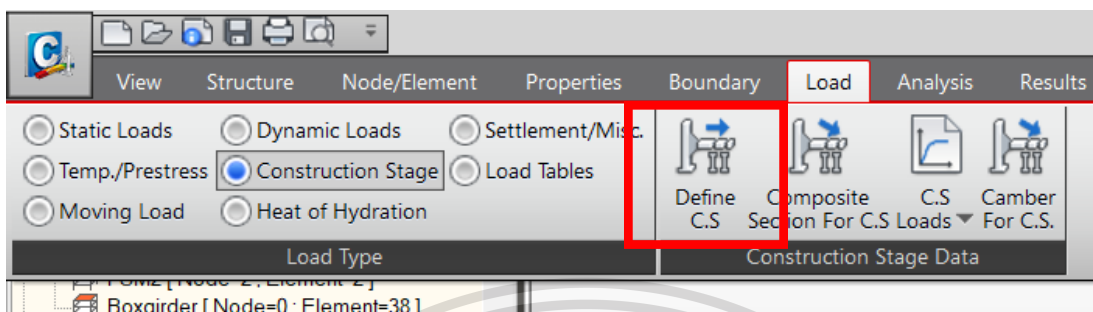
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

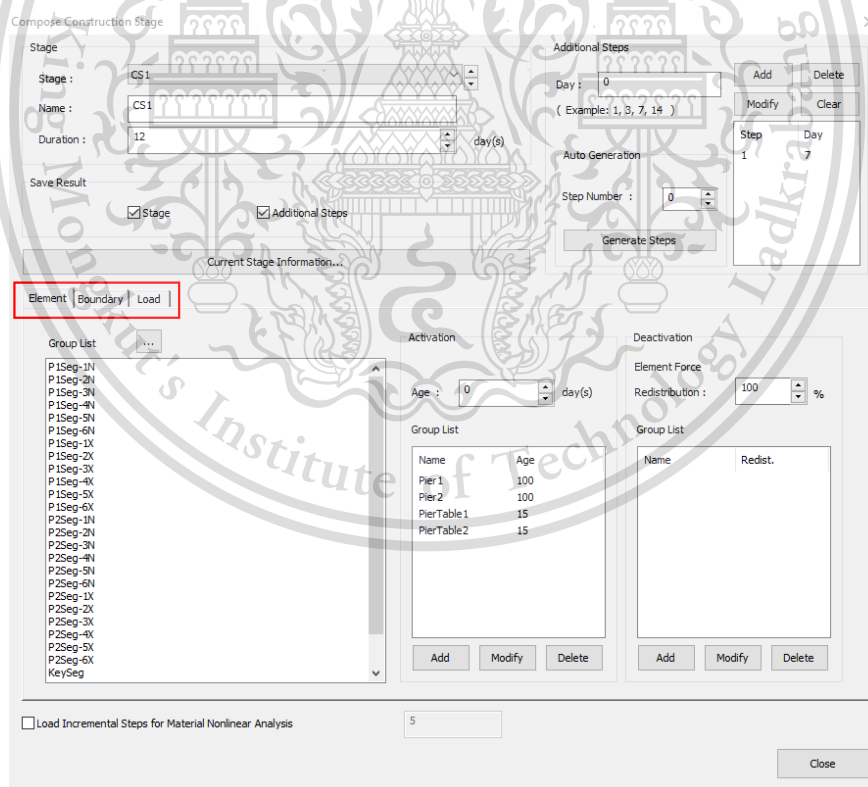
3.6.2 Construction Stage Arrangement

เริ่มจาก เลือก Load Tab แล้วไปที่ Construction Stage option แล้วเลือก Define C.S.



รูปที่ 3.6-3 แสดง Load Tab

จากนั้น ดับเบิลคลิก ที่ Stage ที่เราสร้างไว้ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ จะได้หน้าต่าง หน้าต่าง Compose Construction Stage



รูปที่ 3.6-4 หน้าต่าง Compose Construction Stage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แล้วกำหนดค่าระยะเวลาของการก่อสร้างแต่ละขั้นตอน Duration ที่ 12 วันแล้วกำหนดค่าต่างๆ 3 ส่วนคือ Element Boundary Load ในหน้าต่าง Compose Construction Stage ให้ครบทุก Stage

Element Tab เกี่ยวกับ Structure Group ของโครงสร้างสะพานและเวลาที่แสดงผลและเวลาที่ไม่แสดงผล

Boundary Tab เกี่ยวกับ Boundary Group ของโครงสร้างสะพานและเวลาที่แสดงผลและเวลาที่ไม่แสดงผล

Load Tab เกี่ยวกับ Load Group ของโครงสร้างสะพานและเวลาที่แสดงผลและเวลาที่ไม่แสดงผล โดยกำหนดค่าต่างๆให้ครบ ทุก Construction Stage

3.7 Load Input

- มี Load ทั้งหมด 6 ตัว ได้แก่
1. Self-weight of Structure น้ำหนักตายตัว
 2. From traveler น้ำหนักจากแบบหล่อเคลื่อนที่
 3. Wet concrete น้ำหนักจากคอนกรีตสด
 4. Prestress แรงที่อัดของลวดอัดแรง
 5. Time load
 6. Superimposed load น้ำหนักตายตัวเช่น น้ำหนักของราง

3.7.1 Self-weight of Structure

โดยเริ่มจากไปที่ Load เลือก Self Weight กำหนดชื่อ Case เป็น Self กำหนดชื่อ Group เป็น Self แล้วใส่ Factor ที่ $Z = -1$ แล้วกด Add

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

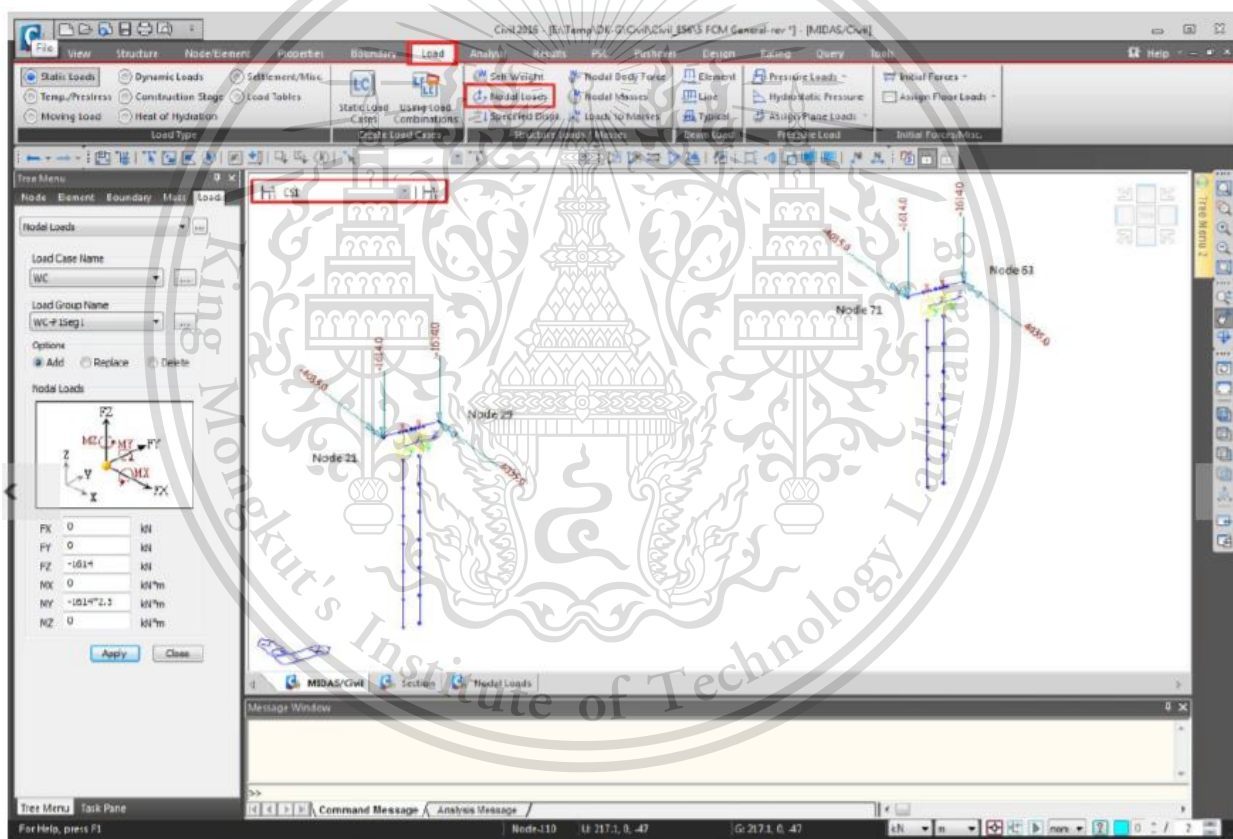
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.7.2 Form traveler และ Wet concrete

การกำหนด Load ทั้งสองสามารถทำได้โดย เลือก Construction Stage (CS) ที่จะเพิ่ม > แล้วไปที่ Load Tab/ Static Loads Option /Nodal Loads Nodal Loads เพื่อกำหนดน้ำหนัก 450 kN และ โมเมนต์ 1150 kN-m จาก Form traveler และ Node ที่เป็นตำแหน่งของแรงที่กระทำในแต่ละ Construction Stage (CS) จะได้ตามรูปที่ 3.7-1

ส่วนวิธีการใส่ค่าน้ำหนักและโมเมนต์จาก Wet concrete ก็ทำเหมือนกันกับ Form traveler แต่ค่าของ Wet concrete จะมีค่าไม่เท่ากันตามลักษณะเรขาคณิตของแต่ละ Box girder จนครบทุก Construction Stage (CS)



รูปที่ 3.7-1 แสดงลักษณะของน้ำหนักและโมเมนต์จาก Form traveler ที่กระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.7.3 Prestress

ส่วนนี้จะทำหลังจากทำหัวข้อที่ 3.9 เสร็จแล้ว โดยจะต้องทำการเลือก Stage ในการ Prestress

Stage>CS ที่ต้องการ

Load Tab/ (Temp./ Prestress) Option / Tendon Prestress

ตัวอย่างการกรอกค่าของ CS2 ทำการกรอกค่าต่างๆในการ Prestress ดังตารางที่ 3.7-1

| | Tendon | Load Case | Type | Jacking | Stress Begin (kN/m ²) | Stress End (kN/m ²) | Force Begin (kN) | Force End (kN) | Grouting | Load Group |
|---|---------|-----------|-------|---------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------|----------------|----------|------------|
| | FT-L-L | Ps | Force | Both | 0.00 | 0.00 | 3700.00 | 3700.00 | 1 | PS-PierTa |
| | FT-L-R | Ps | Force | Both | 0.00 | 0.00 | 3700.00 | 3700.00 | 1 | PS-PierTa |
| | FT-R-L | Ps | Force | Both | 0.00 | 0.00 | 3700.00 | 3700.00 | 1 | PS-PierTa |
| | FT-R-R | Ps | Force | Both | 0.00 | 0.00 | 3700.00 | 3700.00 | 1 | PS-PierTa |
| | T11-L-L | Ps | Force | Both | 0.00 | 0.00 | 3700.00 | 3700.00 | 1 | PS-P1Se |
| | T11-L-R | Ps | Force | Both | 0.00 | 0.00 | 3700.00 | 3700.00 | 1 | PS-P1Se |
| | T11-R-L | Ps | Force | Both | 0.00 | 0.00 | 3700.00 | 3700.00 | 1 | PS-P2Se |
| | T11-R-R | Ps | Force | Both | 0.00 | 0.00 | 3700.00 | 3700.00 | 1 | PS-P2Se |
| * | | | | | | | | | | |

ตารางที่ 3.7-1 ค่าการ Prestress ที่ CS2

3.7.4 Time Load

Stage>CS 10

Load Tab / Construction Stage Options / C.S. Loads /Time Loads for Construction

Stage

กด Select Window เลือก element (ตามรูปที่3.7-2)

Load Group Name>Time Load

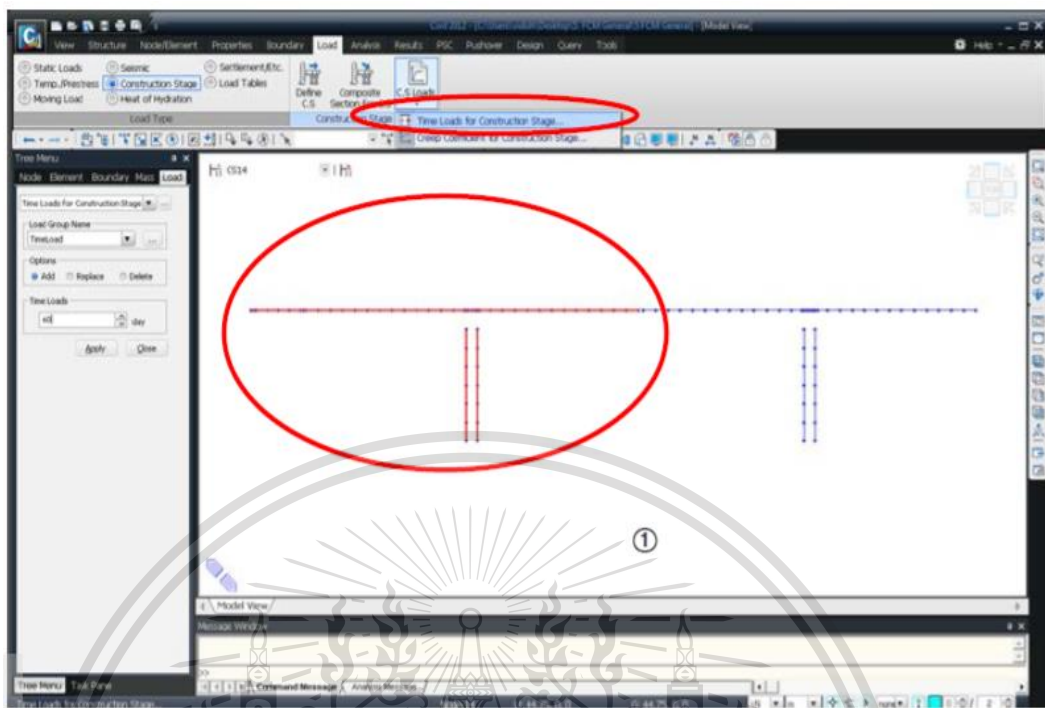
Options>Add

Time Loads (60)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

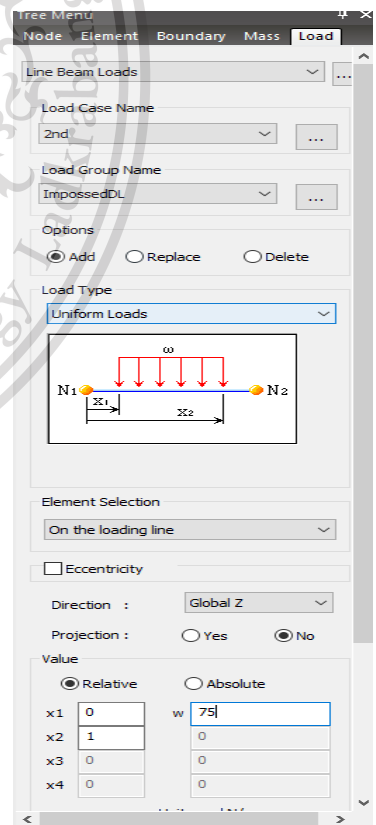


รูปที่ 3.7-2 การใส่ค่า Time Load

3.7.5 Superimposed dead load

Load / Element Beam loads

จะได้หน้าต่าง Tree menu ของ Element Beam loads



กรอกค่าต่างๆดังรูปที่ 3.7-3 โดยค่า Superimposed dead load

ที่ใช้มีค่า 75 kN.

รูปที่ 3.7-3 การใส่ค่า Superimposed dead load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

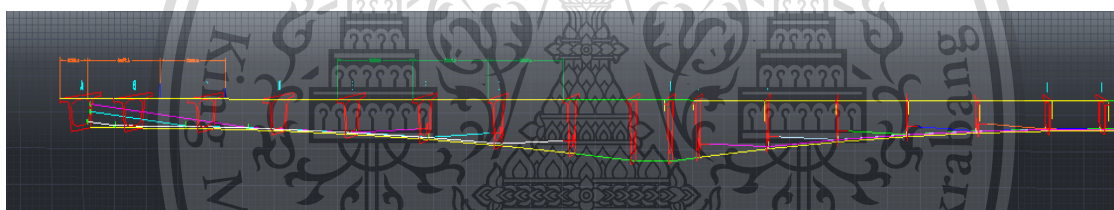
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.8 กำหนดลวดอัดแรง

การสร้างลวดอัดแรงในโปรแกรมสามารถรอกและสร้างขึ้นมาได้หลากหลายวิธี แต่จะใช้วิธีที่พื้นฐานในโปรแกรมคือการกรอกค่าพิกัดและจุดปลายที่ยึดใน 3 มิติ ทั้งในแกน X แกน Y และแกน Z ของลวดอัดแรงแต่ละเส้น

3.8.1 ถอดพิกัดของลวดอัดแรงออกมาจากแบบแปลนที่ศึกษา

- หาพิกัดในแกน x y z และจุดอ้างอิง จากแบบแปลน
- หาระยะ คำนวณ พิกัดเส้นลวดจากแบบโดยใช้ AutoCAD โดยจำลอง model 3d
- วาดแต่ละหน้าตัด แล้วเรียงต่อกันเป็นสะพาน แล้ว หาระยะและวาดเส้นลวด tendon
- กำหนดจุดอ้างอิงและจุดที่ต้องหาค่า
- นำค่าตำแหน่ง จาก AutoCAD ใส่ใน Midas



รูปที่ 3.8-1 Tendon ที่นำไปเขียนบน Auto cad เพื่อถอดพิกัด 3 มิติ

| | P1 Elem | P2 Elem | x | y | z |
|------------|---------|---------|-------|--------|-------|
| Top-P1-A01 | 21to28 | 62to69 | 0 | 0 | -0.25 |
| T11-L-L | | | 4 | 0 | -0.15 |
| | | | 8.2 | 0 | -0.15 |
| | | | 12.7 | 0 | -0.25 |
| | inter | | 32.3, | 2.22, | 0 |
| Top-P1-A02 | 21to28 | 62to69 | 0 | 0 | -0.25 |
| T11-L-R | | | 4 | 0 | -0.15 |
| | | | 8.2 | 0 | -0.15 |
| | | | 12.7 | 0 | -0.25 |
| | inter | | 32.3, | -2.22, | 0 |
| Top-P1-A03 | 20to29 | 61to70 | 0 | 0 | -0.25 |
| T11-R-L | | | 4.5 | 0 | -0.15 |
| | | | 8.7 | 0 | -0.15 |
| | | | 12.7 | 0 | -0.25 |
| | inter | | 90, | 2.22, | 0 |
| Top-P1-A04 | 19to30 | 60to71 | 0 | 0 | -0.25 |
| T11-R-R | | | 4.5 | 0 | -0.15 |
| | | | 8.7 | 0 | -0.15 |
| | | | 12.7 | 0 | -0.25 |
| | inter | | 90, | -2.22, | 0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ตารางที่ 3.8-1 ตัวอย่างพิกัดของ Tendon เส้น T11
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

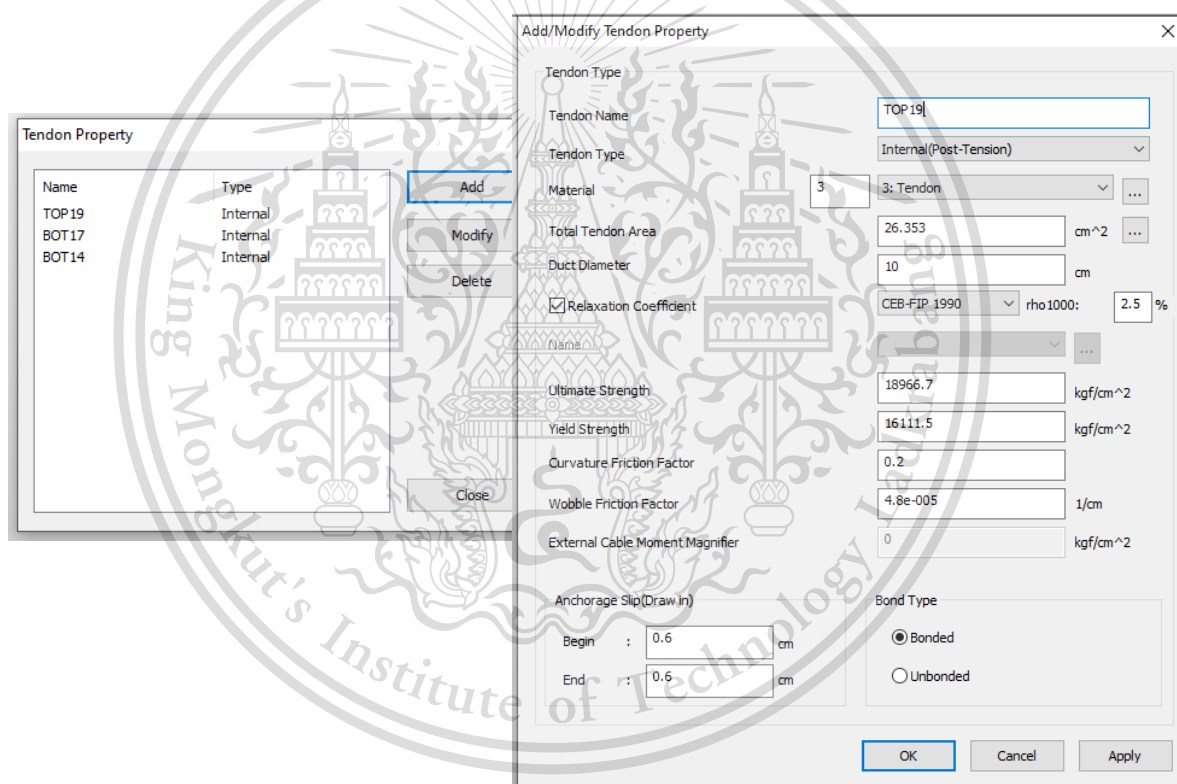
3.8.2 กำหนดคุณสมบัติของลวดอัดแรง

เลือก Stage > Base ก่อนที่จะเข้าไปหน้าต่าง Load Tab

Load Tab/ (Temp./Prestress Loads) / Tendon Property

จะได้หน้าต่าง Tendon Property เพื่อใช้เพิ่ม แก้ไข หรือลบ คุณสมบัติของลวดอัดแรง

กด Add จะได้หน้าต่าง Add/Modify Tendon Property เพื่อกำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆของลวดอัดแรงตามแบบมาตรฐาน ดังแสดงใน รูปที่ 3.8-2



รูปที่ 3.8-2 ด้านซ้ายรูปของหน้าต่าง Tendon Property ด้านขวารูปหน้าต่าง Add/Modify Tendon Property

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.8.3 กำหนดลวดอัดแรงในโปรแกรม

ขั้นตอนนี้ทำหลังจากที่กำหนดคุณสมบัติแล้ว

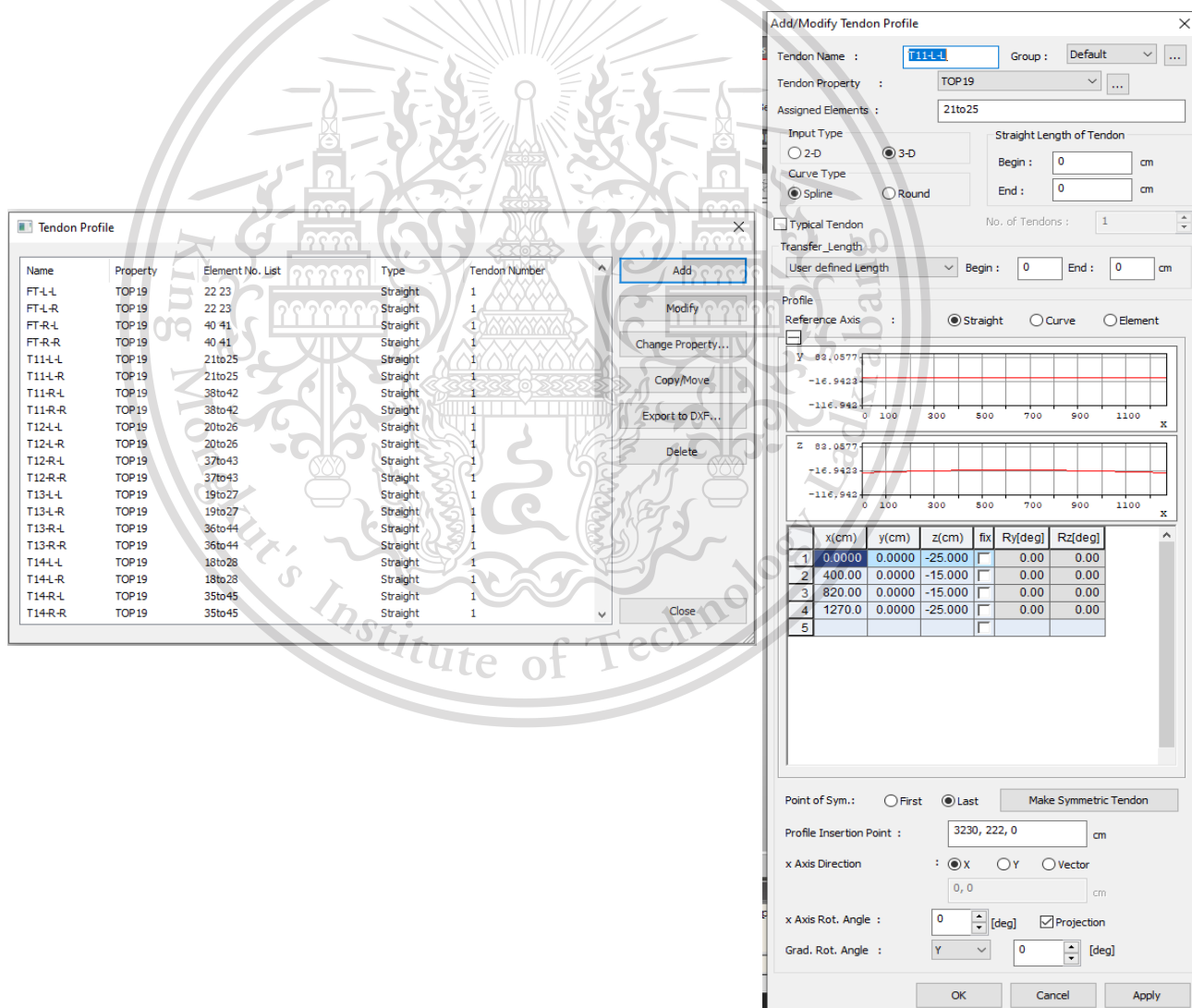
Load Tab / (Temp./ Prestress) Option / Tendon Profile

จะได้หน้าต่าง Tendon profile เพื่อใช้เพิ่ม แก้ไข หรือลบ profile ของลวดอัดแรง

กด Add จะได้นหน้าต่าง Add/Modify Tendon Profile เพื่อกำหนดค่าต่างๆทำการสร้างลวดอัดแรง

แต่ละเส้นขึ้นมาจากการรอกค่าพิกัดและจุดปลายที่ยึดใน 3 มิติ ทั้งในแกน X แกน Y และแกน Z

ของลวดอัดแรงตามแบบมาตรฐาน ดังแสดงใน รูปที่ 3.8-3



เอกสารนี้ รูปที่ 3.8-3 ด้านซ้ายรูปของหน้าต่าง Tendon Profile ด้านขวารูปหน้าต่าง Add/Modify Tendon Profile

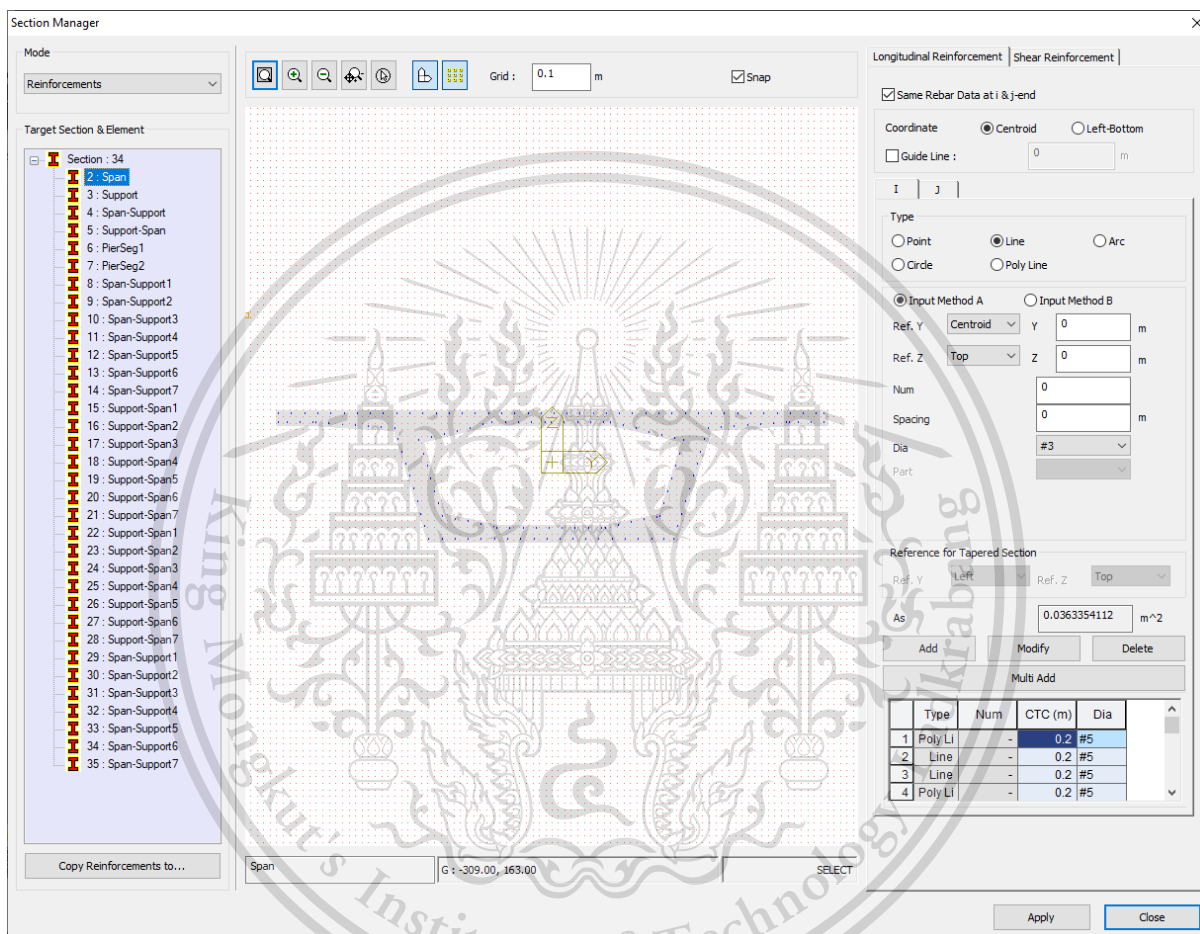
การคำนวณค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.9 การใส่เหล็กเสริมในหน้าตัดสะพาน

คลิก properties / Section Manager / Reinforcements เมื่อเข้าสู่หน้าต่างคำสั่งผู้ใช้จะสามารถใส่เหล็กเสริมโดยเลือกหน้าตัดที่สร้างมา วิธีใส่เหล็กใช้การลากเส้นและกำหนดค่าจากแบบก่อสร้าง และสามารถใส่ได้ทั้งแนวยาวและขวางของหน้าตัด



รูปที่ 3.9-1 การใส่เหล็กเสริม Longitudinal Reinforcement ที่หน้าตัดกึ่งกลาง(Section Span)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

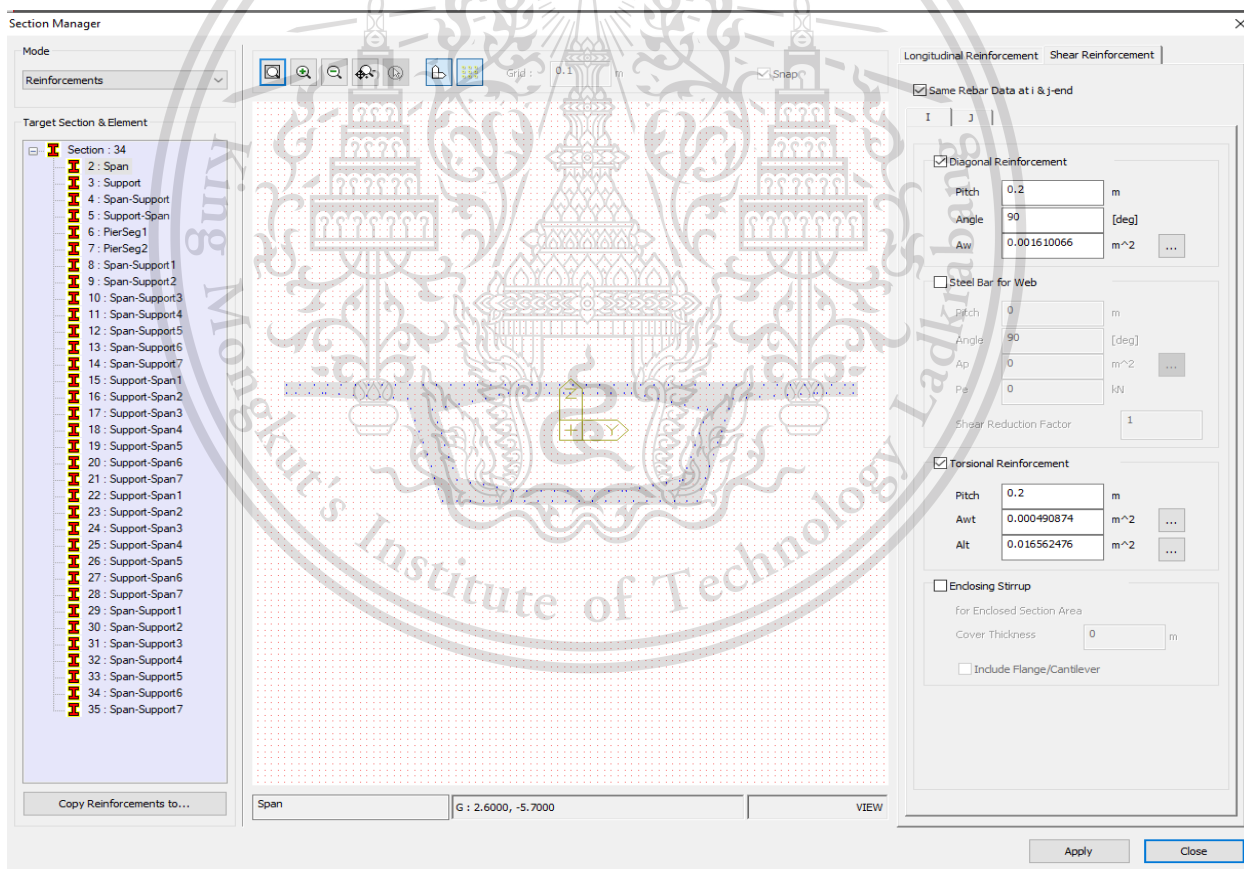
3.9.1 Longitudinal Reinforcement tab

กด Same Rebar Data at i & j end และใช้คำสั่ง Line หรือ Poly Line ลากกรอกจำนวนเหล็กเสริมตามแบบก่อสร้างทั้งหมดในหน้าตัดของ Span, PierSeg1 PierSeg2, และ Support-Span กับ Span-Support ทั้งหมด ตามรูปที่ 3.9-1

3.9.2 Shear Reinforcement

กด Same Rebar Data at i & j end และ

กด ที่ช่อง Diagonal Reinforcement และ Torsional Reinforcement กรอกจำนวนเหล็กเสริมตามแบบก่อสร้างแบบกรอก หน้าตัดเหล็กและระยะห่างระหว่างเหล็กทั้งหมดในหน้าตัดของ Span, PierSeg1 PierSeg2, และ Support-Span กับ Span-Support ทั้งหมด ตามรูปที่ 3.9-2



รูปที่ 3.9-2 การใส่เหล็กเสริม Shear Reinforcement ที่หน้าตัดกึ่งกลาง(Section Span)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.10 Creep/Shrinkage/Comp. Strength/Material Link

3.10.1 กำหนด Creep/Shrinkage

Properties / Time Dependent Material / Creep/Shrinkage

กรอกค่าต่าง ๆ และใช้ Code CEB-FIP(1990) ดังแสดงในรูปที่ 3.10-1

Add/Modify Time Dependent Material (Creep / Shrinkage)

Name : Code :

CEB-FIP(1990)

Characteristic compressive strength of concrete at the age of 28 days (fck) : kgf/cm²

Relative Humidity of ambient environment (40 - 99) : %

Notional size of member : cm

$h = 2 * A_c / u$ (A_c : Section Area, u : Perimeter in contact with atmosphere)

Type of cement

Rapid hardening high strength cement (RS)

Normal or rapid hardening cement (N, R)

Slowly hardening cement (SL)

Age of concrete at the beginning of shrinkage : day

Show Result...

รูปที่ 3.10-1 หน้าต่างกำหนดค่า Creep/Shrinkage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

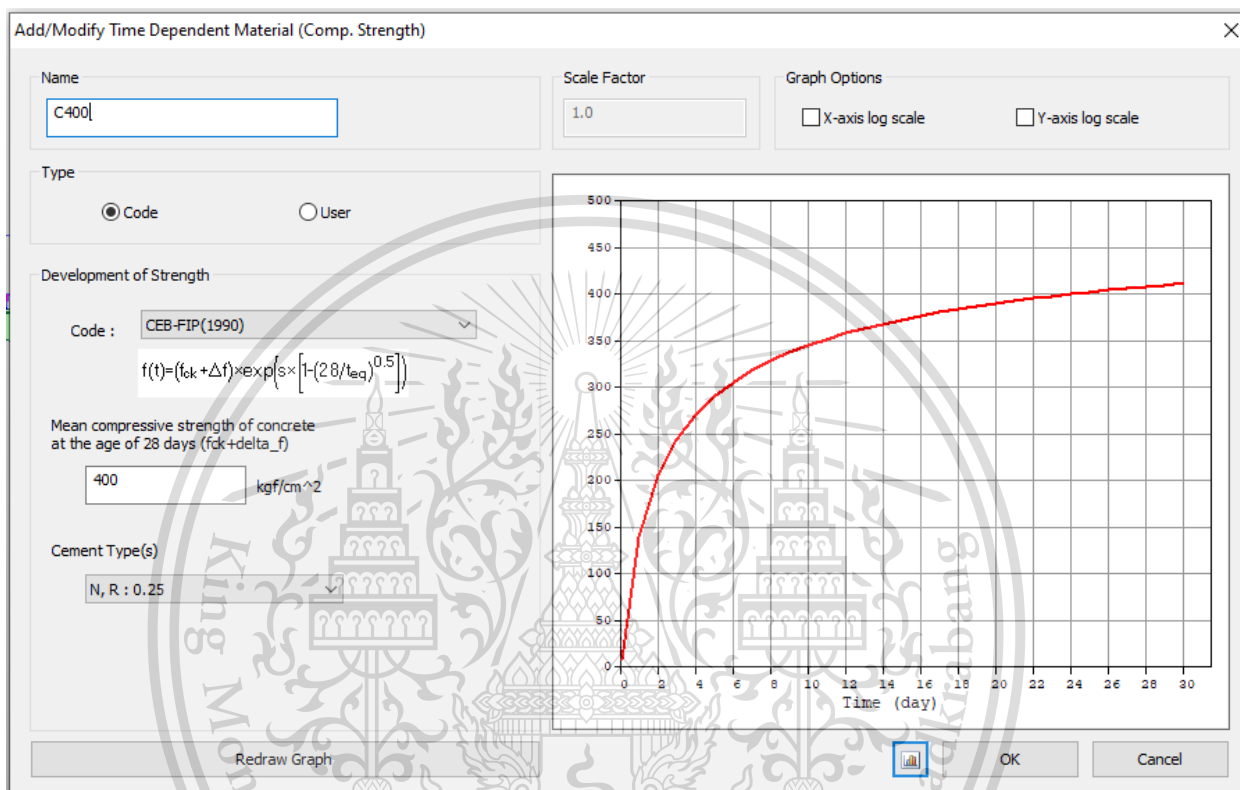
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.10.2 Comp. Strength

Properties / Time Dependent Material / Comp. Strength

กรอกค่าต่าง ๆ และใช้ Code CEB-FIP(1990) ดังแสดงในรูปที่ 3.10-2



รูปที่ 3.10-2 หน้าต่างกำหนดค่า Comp. Strength

3.10.3 Material Link

Properties / Time Dependent Material / Material Link

โดยจะทำการ Link ค่าของ Comp. Strength และ Creep/Shrinkage จากสองขั้นตอนที่ผ่านมาไว้กับคอนกรีต C400 ที่สร้างไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

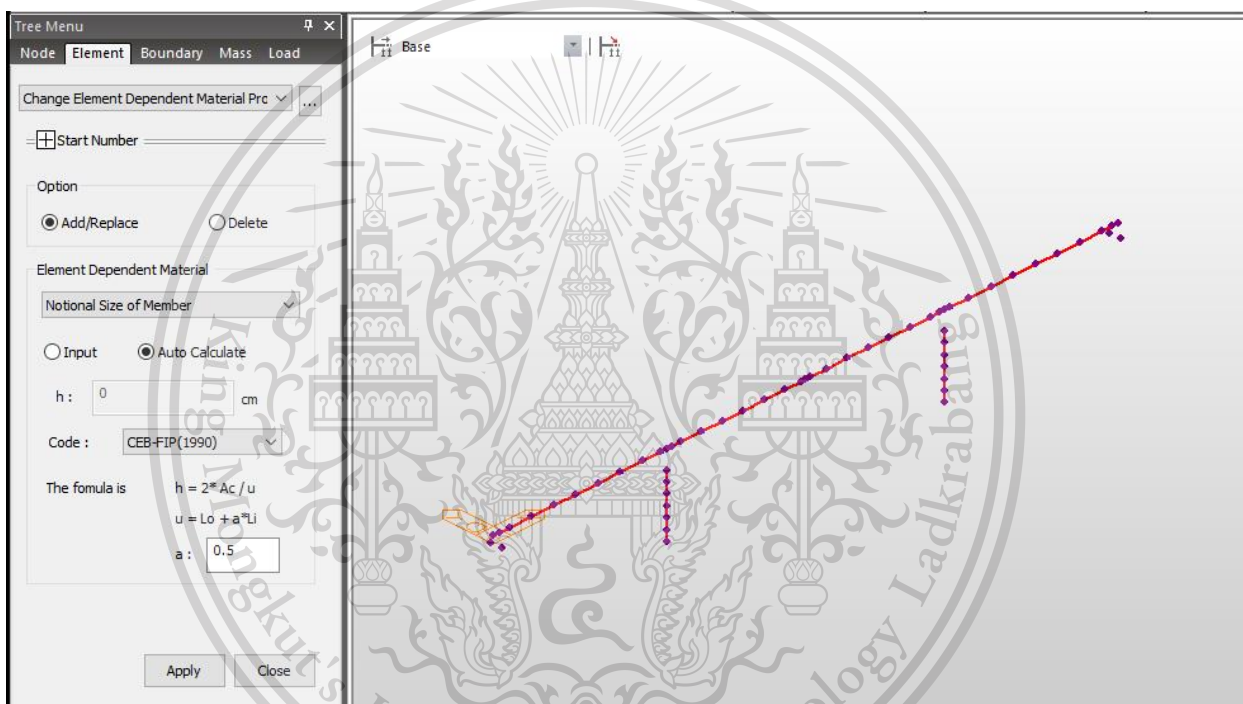
3.10.4 Chang Property

Properties / Time Dependent Material / Chang Property

กด Select all เพื่อเลือกทั้ง โมเดล

ช่อง Element Dependent Material กดเลือก Notational Size of Member และกด Auto Calculate

โดยใช้ Code CEB-FIP ตามรูปที่ 3.10-3



รูปที่ 3.10-3 การกำหนดค่า Change property

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

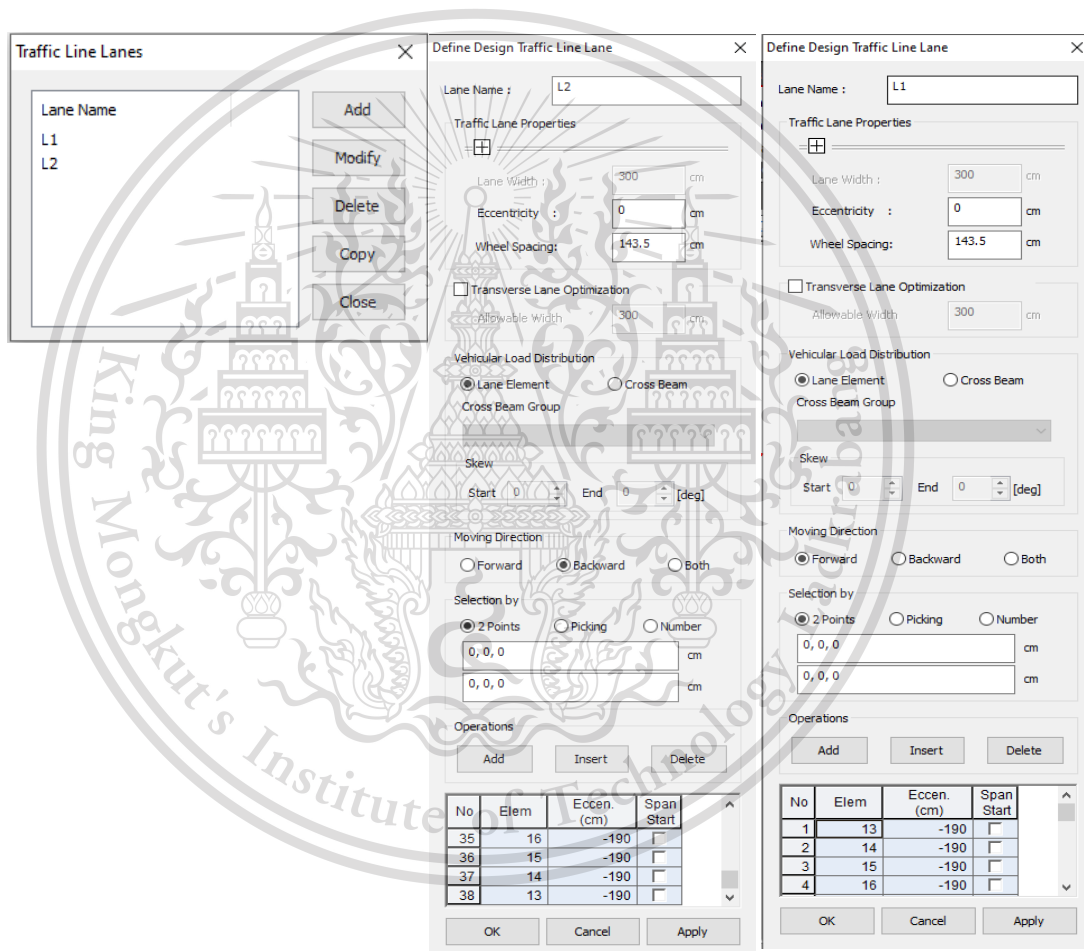
3.11 กำหนด Moving Load

กำหนดใช้ Moving Load Code ASSHTO LRFD

3.11.1 Traffic Line Lanes

Load/Moving Load/Traffic Line Lanes

ในที่นี้จะสร้าง Line Lanes 2 เส้นหรือคือสองรางรถไฟที่กำหนดค่าตามรูปที่ 3.11-1



รูปที่ 3.11-1 กำหนดค่าของรางรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

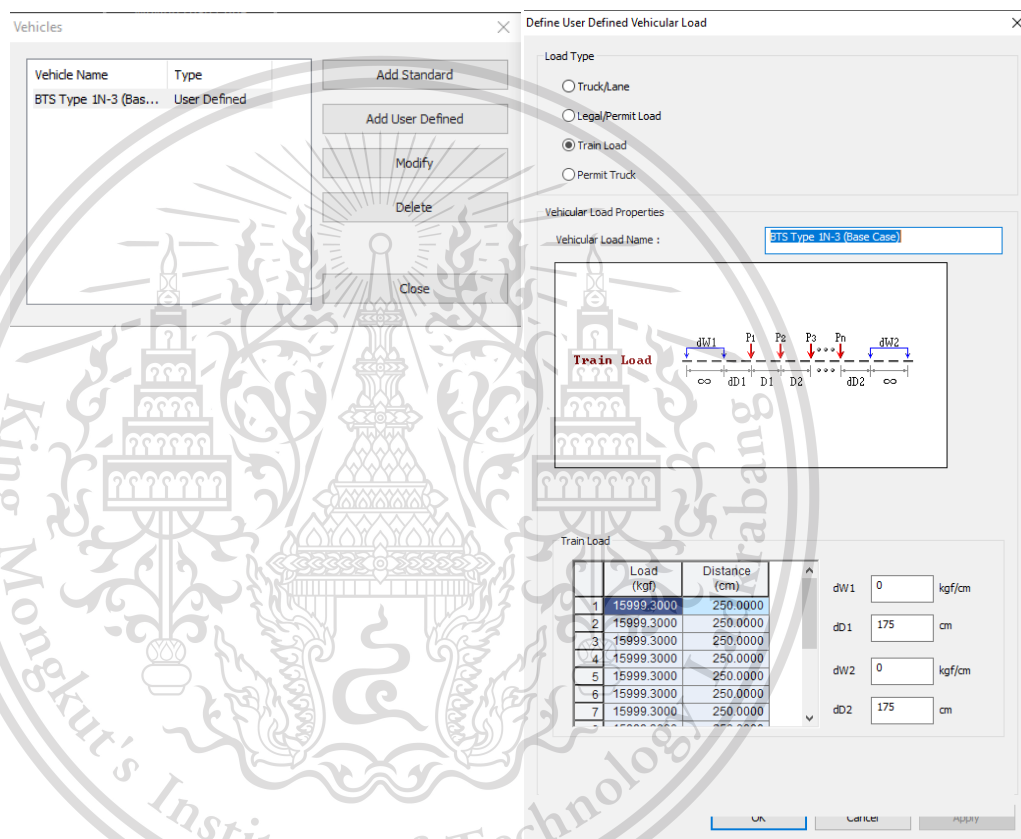
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.11.2 Vehicle

Load/Moving Load/Vehicle

โดยจะกด Add User Defined แล้วกรอกค่า สเปกและน้ำหนักของ รถไฟฟ้า BTS 1 คัน จำนวน 3 โบกี้

โดยค่า Load ที่ใช้เท่ากับ 156.9 kN. ระยะห่าง D 250 cm. ตามรูปที่ 3.11-2



รูปที่ 3.11-2 กำหนดค่าสเปกของรถไฟฟ้า BTS จำนวน 3 โบกี้

3.11.3 Moving Load Case

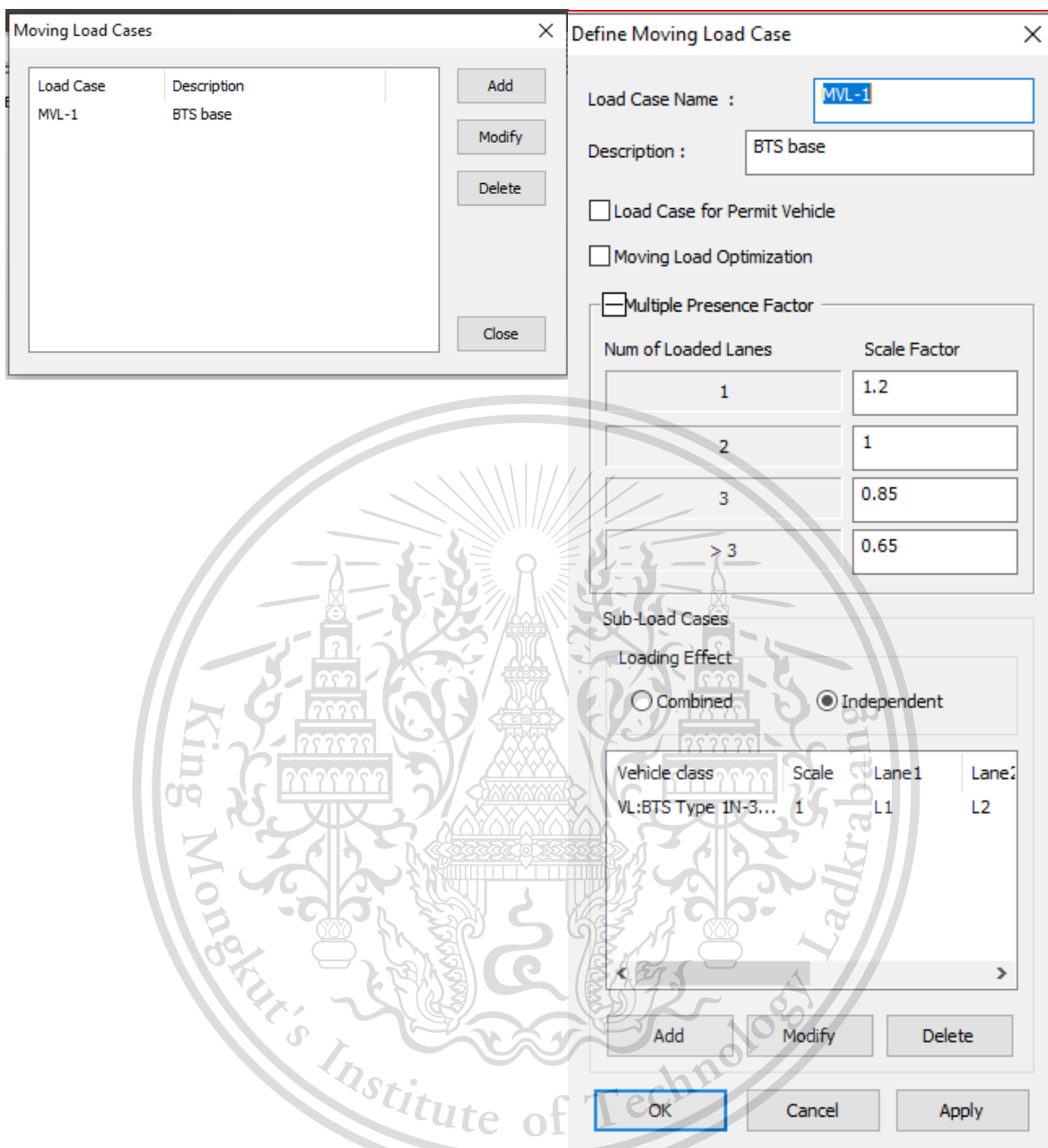
Load/Moving Load/Vehicle

ขั้นตอนนี้จะทำการสร้าง Moving Load Case ขึ้นมาจาก Traffic Line Lanes และ Vehicle ที่นำมาสัมพันธ์กันตามรูปที่ 3.11-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.11-3 การสร้าง Moving Load Case

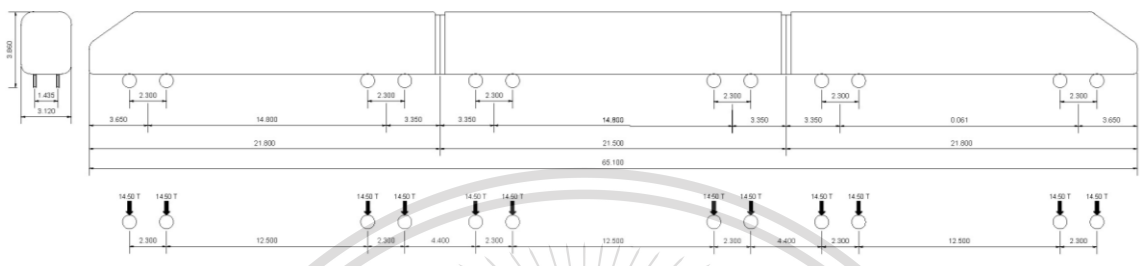
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

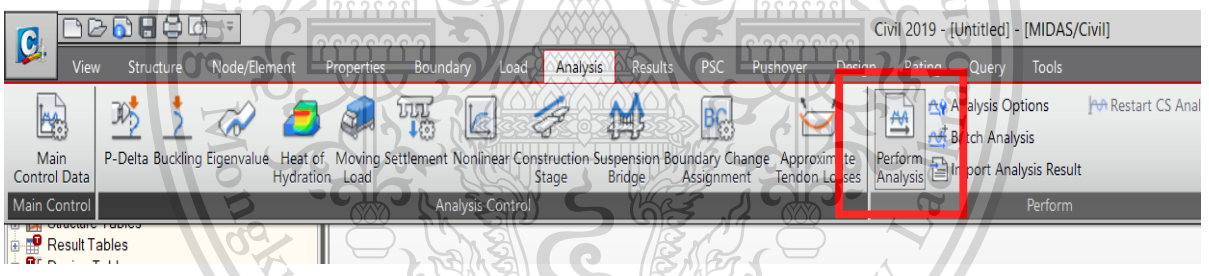
3.11.4 ระยะน้ำหนักลงเพลาและน้ำหนักลงเพลาของรถไฟฟ้า BTS 3 โบกี้

รถไฟฟ้า BTS ตามแบบมาตรฐานจำนวน 3 โบกี้ที่ใช้วิเคราะห์ มีระยะน้ำหนักลงเพลาและน้ำหนักลงเพลา มีลักษณะตามรูปที่ 3.11-4



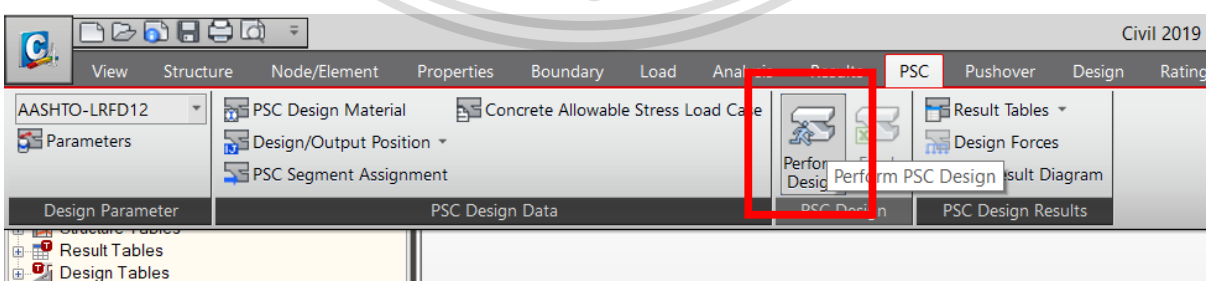
รูปที่ 3.11-4 ระยะน้ำหนักลงเพลาและน้ำหนักลงเพลาของรถไฟฟ้า BTS 3 โบกี้

หลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดล โดยการ เลือกเมนู Analysis แล้วคลิกคำสั่ง Perform Analysis ดังรูปที่ 3.11-5



รูปที่ 3.11-5 การกด Analysis Model

เมื่อ Analysis ผ่าน ให้ไปที่เมนู PSC แล้วเลือกคำสั่ง Perform Design ดังรูปที่ 3.11-6



รูปที่ 3.11-6 Perform Design

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างสะพานที่ก่อสร้างโดยวิธีคานยื่นสมดุล เมื่อมีน้ำหนักของรถไฟฟ้าตามที่ BTS กำหนด ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยโปรแกรม Midas Civil 2019 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรม ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่ผิวบนและผิวล่างในขณะก่อสร้างและในขณะใช้งาน

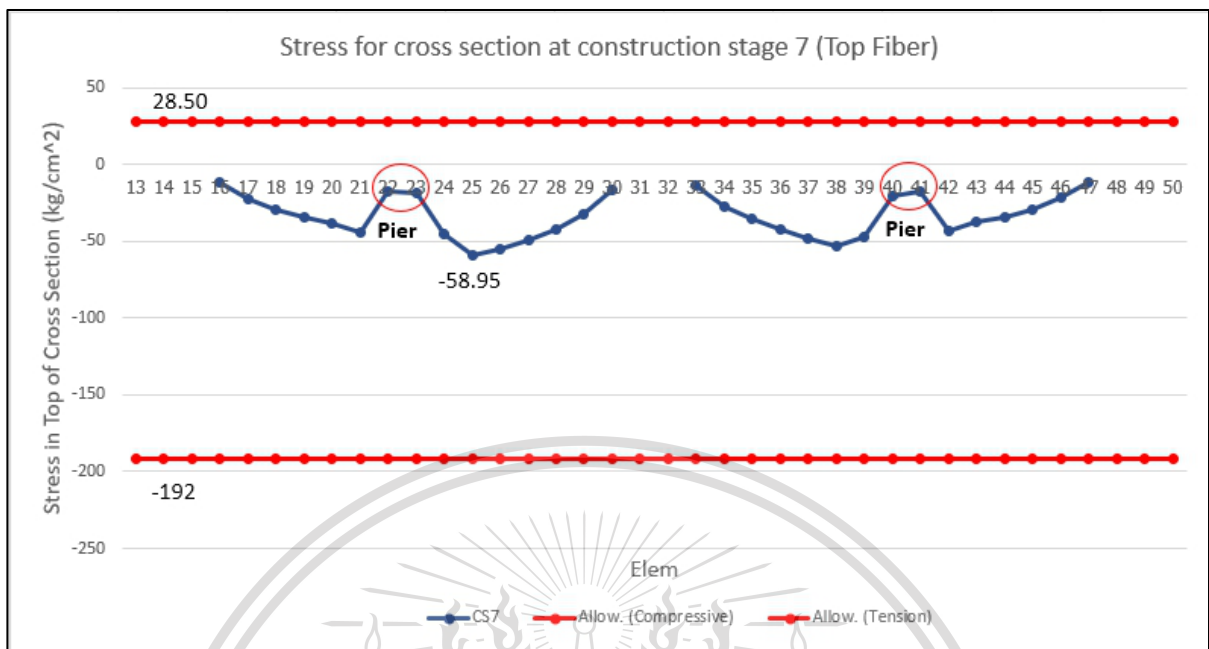
ความเค้นที่ผิวบนคอนกรีต

จากการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีต พบว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 7 มีค่าสูงสุด 58.95 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 8 มีค่าสูงสุด 90.08 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 9 มีค่าสูงสุด 95.94 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 10 มีค่าสูงสุด 115.85 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการใช้งาน มีค่าสูงสุด 85.51 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้าง เทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.1-1 ถึง 4.1-5

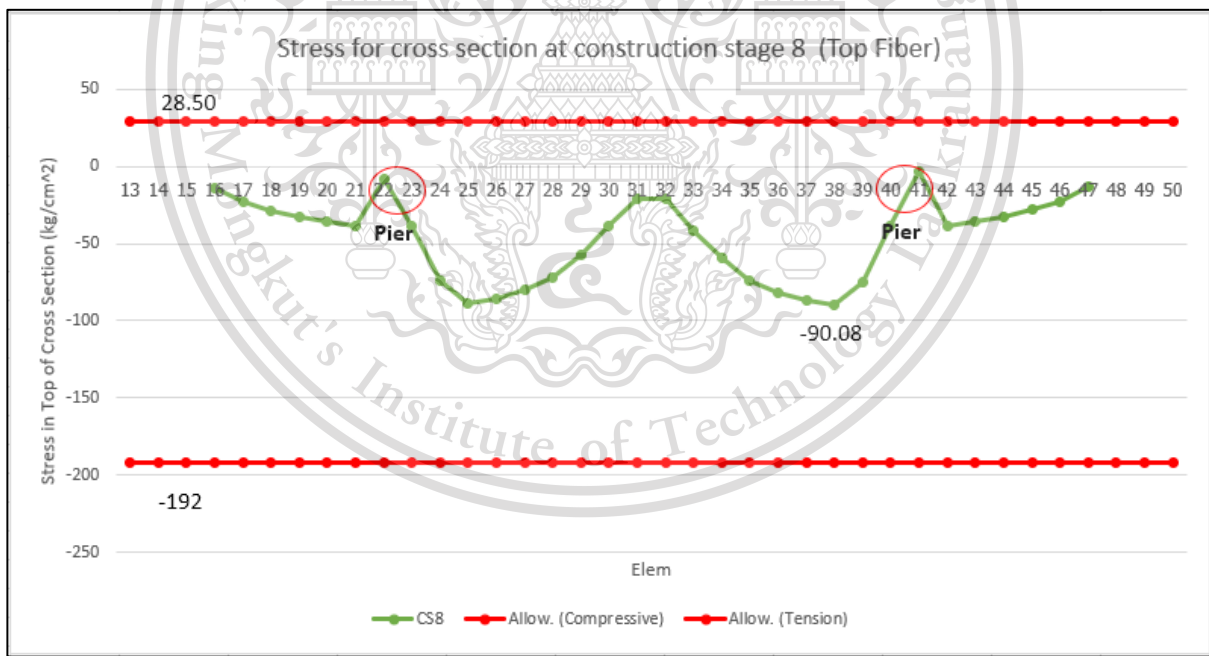
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

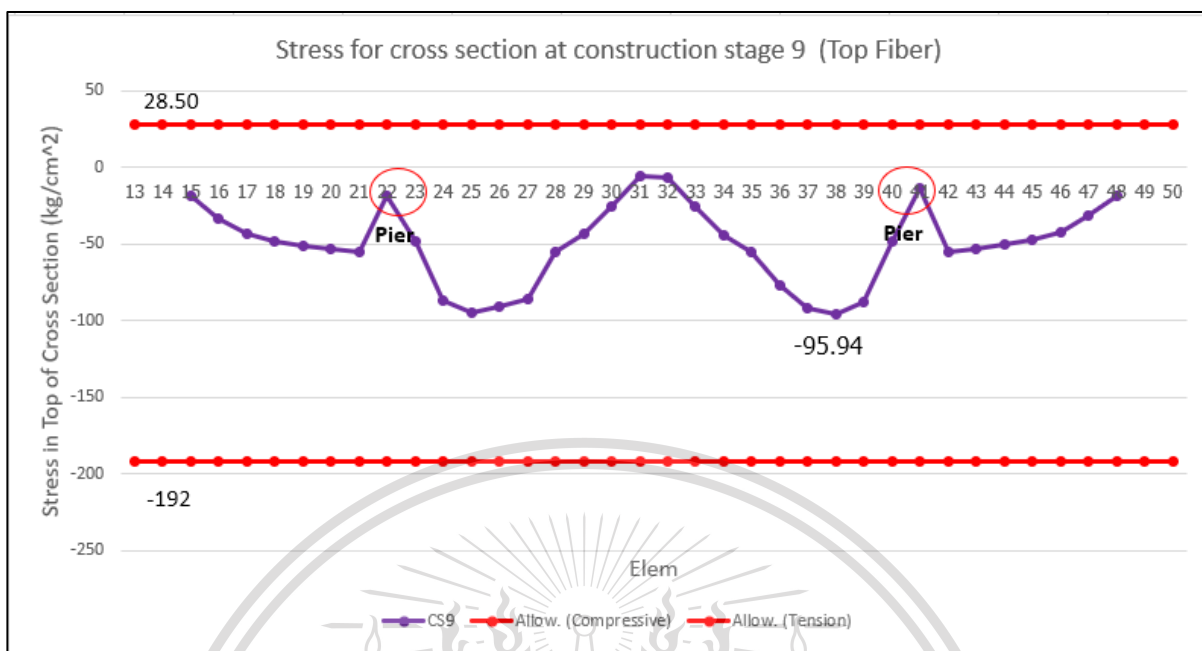


รูปที่ 4.1-1 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 7 เทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง

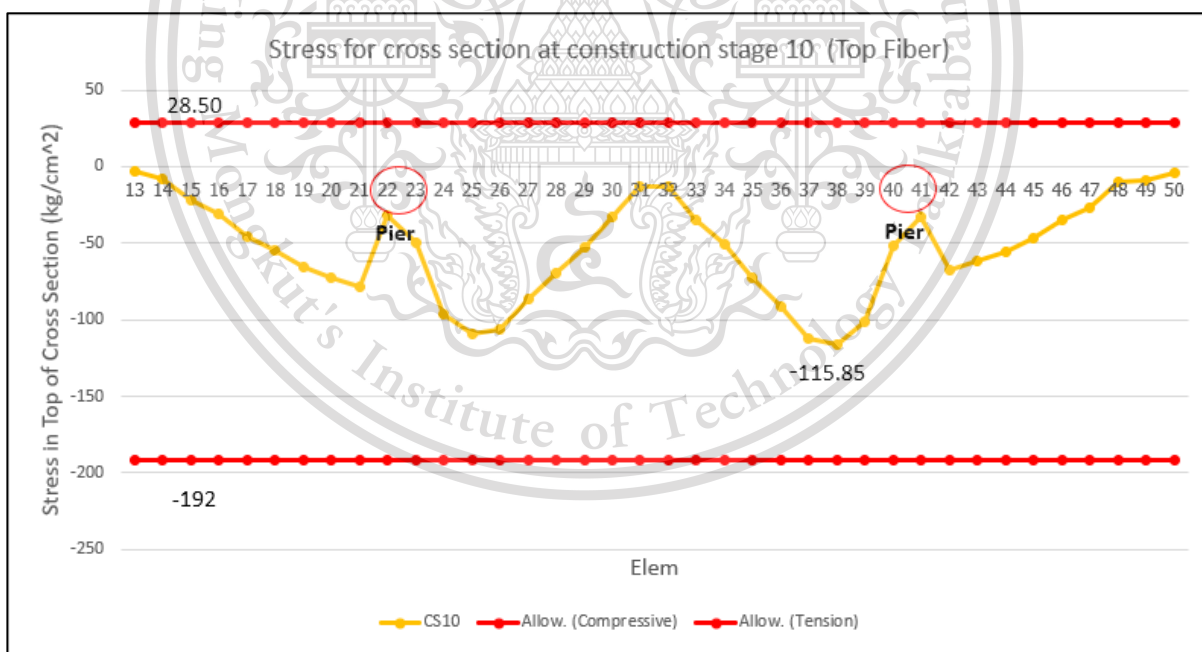


รูปที่ 4.1-2 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 8 เทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1-3 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 9 เทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง

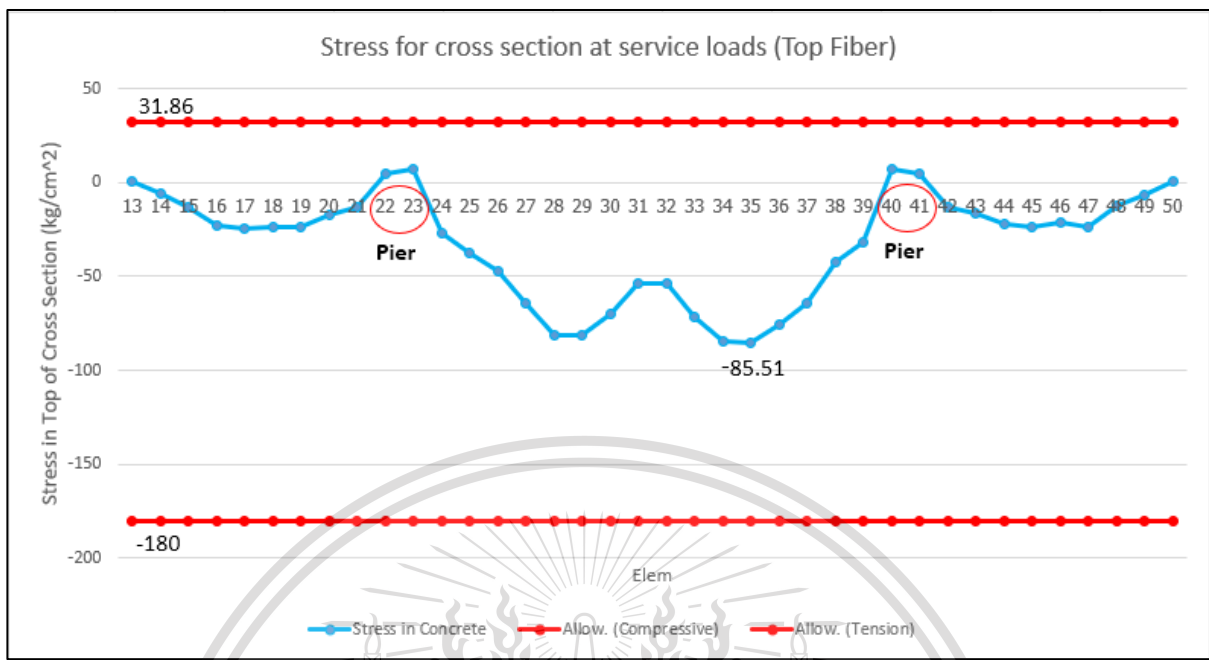


รูปที่ 4.1-4 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 10 เทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

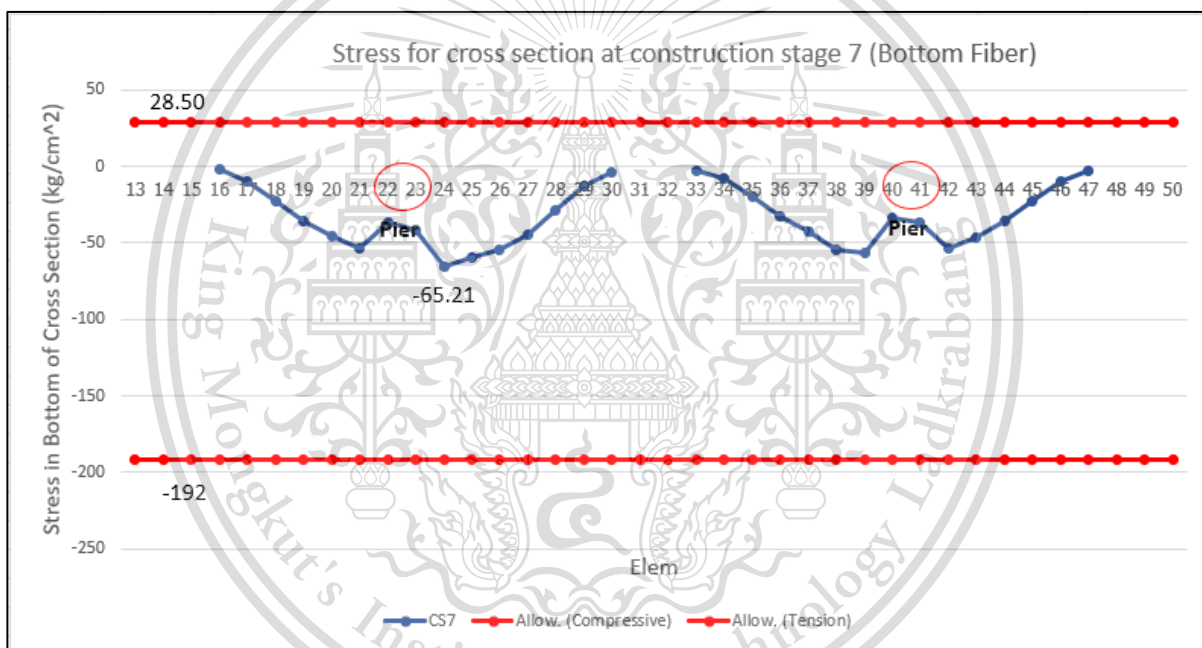


รูปที่ 4.1-5 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในชั้นตอนขณะใช้งานเทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค้นที่ผิวล่างคอนกรีต

จากการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีต พบว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 7 มีค่าสูงสุด 65.21 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 8 มีค่าสูงสุด 92.80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 9 มีค่าสูงสุด 105.94 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 10 มีค่าสูงสุด 104.15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการใช้งาน มีค่าสูงสุด 15.68 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้าง เทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.1-6 ถึง 4.1-10



รูปที่ 4.1-6 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 7 เทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง

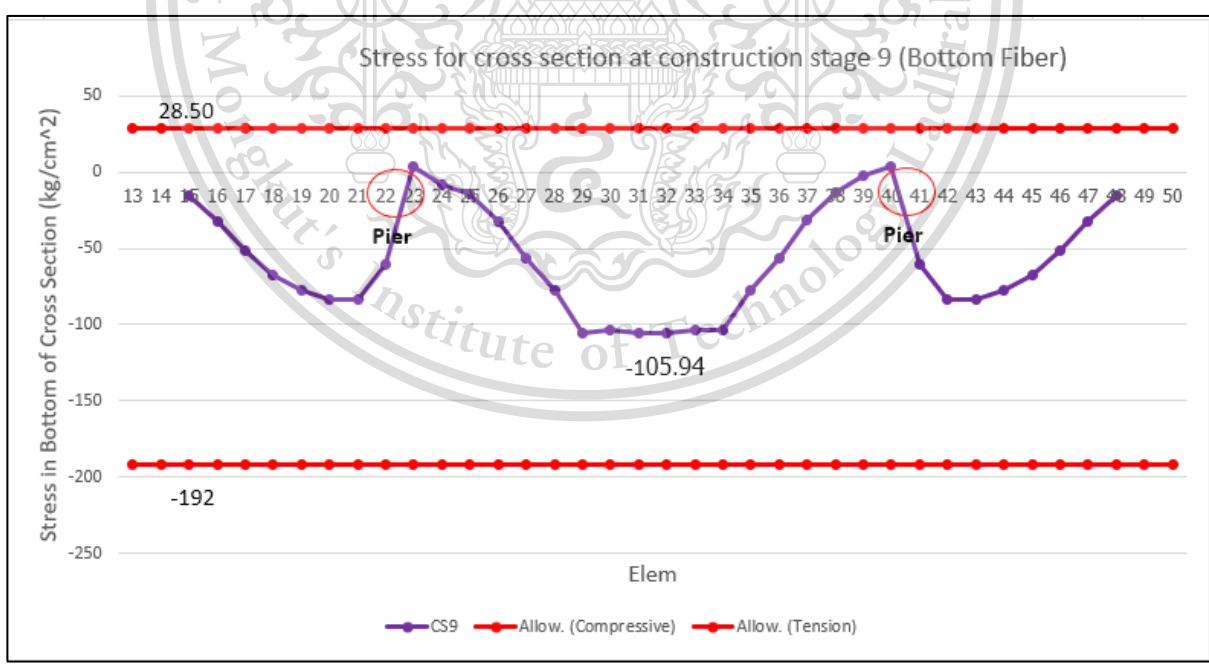
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

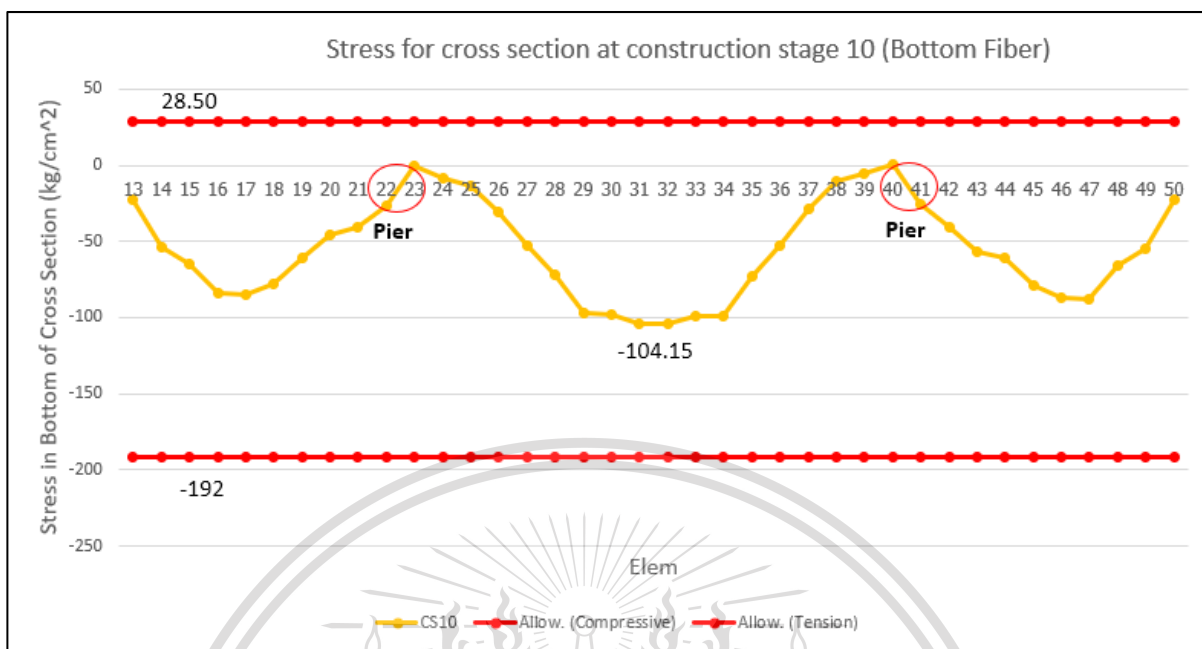
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



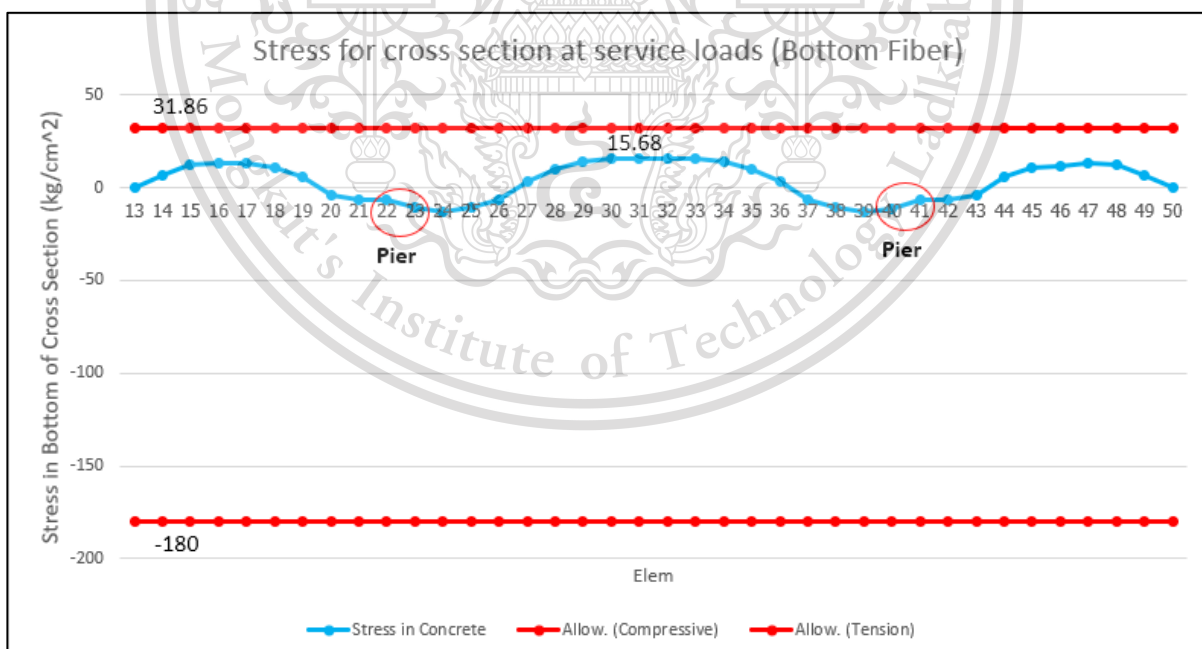
รูปที่ 4.1-7 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 8 เทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง



รูปที่ 4.1-8 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 9 เทียบกับหน่วยแรงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ่ขีดจำกัดของโครงสร้าง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1-9 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวล่างของคอนกรีตในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 10 เทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง



รูปที่ 4.1-10 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคอนกรีตในขั้นตอนขณะใช้งานเทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อโครงการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง

จากผลการการเปรียบเทียบหน่วยแรงที่เกิดที่ผิวคอนกรีตในทุกชั้นตอนกับค่าหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง ในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 7 ถึง 10 จะใช้หน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้างในขณะก่อสร้าง ดังนี้

หน่วยแรงที่ยอมขณะก่อสร้าง

$$\text{Compressive stress } F_{ci} = -0.60f'_{ci} = 192.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensile stress } F_{ti} = 0.80f'_{ci}{}^{1/2} = 28.50 \text{ kg/cm}^2$$

หน่วยแรงที่ยอมให้ขณะใช้งานรับน้ำหนักบรรทุก

$$\text{Compressive stress } F_c = -0.45f'_c = -180 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensile stress } F_t = 1.60f'_c{}^{1/2} = 31.86 \text{ kg/cm}^2$$



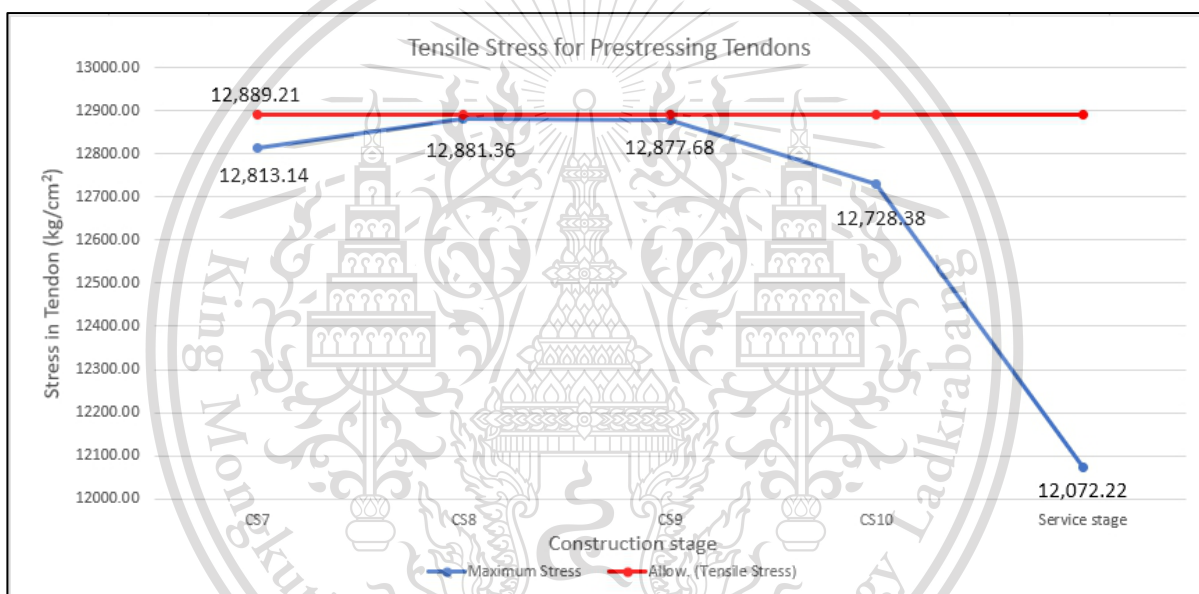
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในลวดอัดแรง

จากการวิเคราะห์ค่าหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงภายหลังการสูญเสียแรงดึง พบว่าค่าหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 7 มีค่าสูงสุด 12,813.14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะที่ค่าหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 8 มีค่าสูงสุด 12,881.36 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะที่ค่าหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 9 มีค่าสูงสุด 12,877.68 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะที่ค่าหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 10 มีค่าสูงสุด 12,828.38 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะที่ค่าหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงในขั้นตอนใช้งาน มีค่าสูงสุด 12,072.22 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.2-1



รูปที่ 4.2-1 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ลวดอัดแรงในทุกขั้นตอนที่พิจารณาเทียบกับหน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง

หน่วยแรงขีดจำกัดของโครงสร้าง

สำหรับลวดอัดแรงที่สภาวะใช้งานภายหลังการสูญเสียแรงดึงหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในลวดอัดจะต้องมีค่าไม่เกินค่าหน่วยแรงที่ยอมให้อ้างอิงตามมาตรฐาน AASHTO (LRFD) ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$f_{pe} = +0.80 f_{py} \quad (3)$$

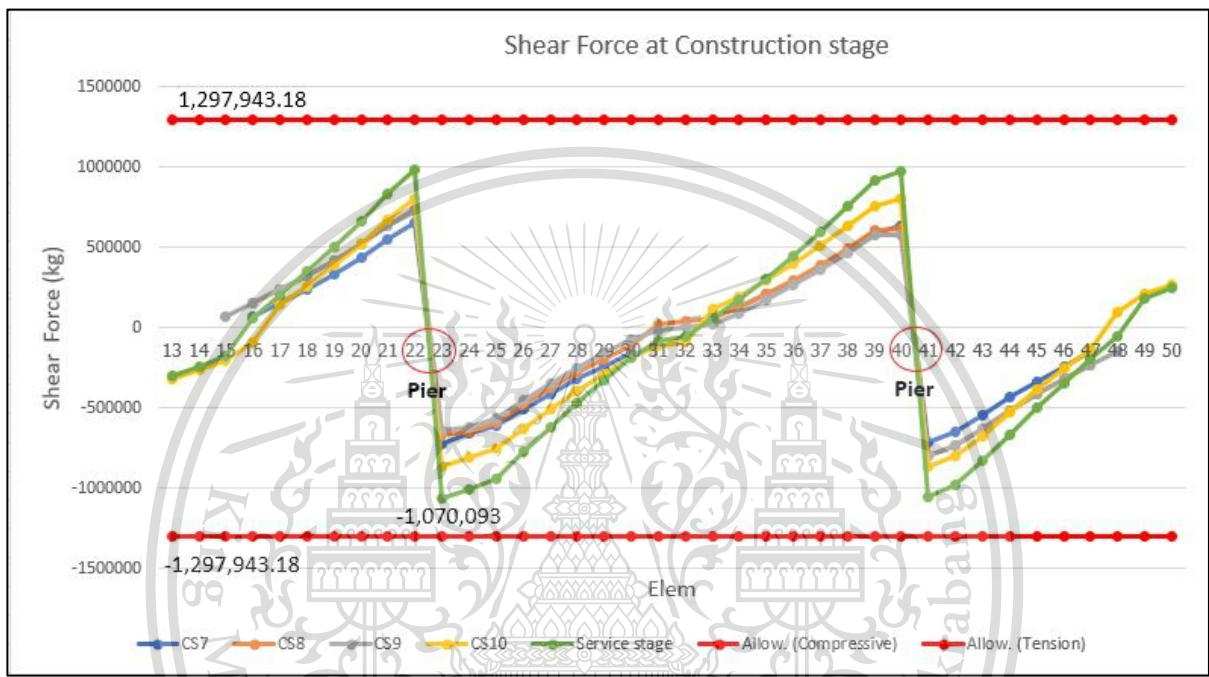
โดยที่ f_{pe} คือ ค่าหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงที่สภาวะการใช้งานภายหลังการสูญเสียแรงดึง

$$F_{pe} = +0.8f_{py} = 12889.21 \text{ kg/cm}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 แรงเฉือนในคอนกรีตอัดแรง

จากการวิเคราะห์แรงเฉือนในคอนกรีต พบว่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอนการก่อสร้างและขณะใช้งาน ค่าที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันทั้งหมด ซึ่งผลที่เกิดขึ้นในขั้นตอนขณะใช้งาน จะมีค่าสูงที่สุด 1,070,093 กิโลกรัม ดังรูปที่ 4.3-1



รูปที่ 4.3-1 ผลของแรงเฉือนในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้างและขณะใช้งาน

กำลังรับแรงเฉือนขีดจำกัดของโครงสร้าง

สำหรับสะพานคอนกรีตอัดแรง หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริมจะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่น้อยสุดของค่าหน่วยแรงที่ยอมให้อ้างอิงตามมาตรฐาน AASHTO (LRFD) ดังแสดงในสมการที่ (4) และสมการที่ (5)

$$V_n = V_c + V_s \quad (4), \quad V_n = 1,297,943.18 \text{ kg}$$

โดยที่ $V_c = 0.166K(f'_c b_d d_v)^{1/2}$

$$V_s = \frac{A_v f_y d_v}{s}$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (5)$$

โดยที่ V_n คือ ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ในหน้าตัด

V_c คือ ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ในคอนกรีต

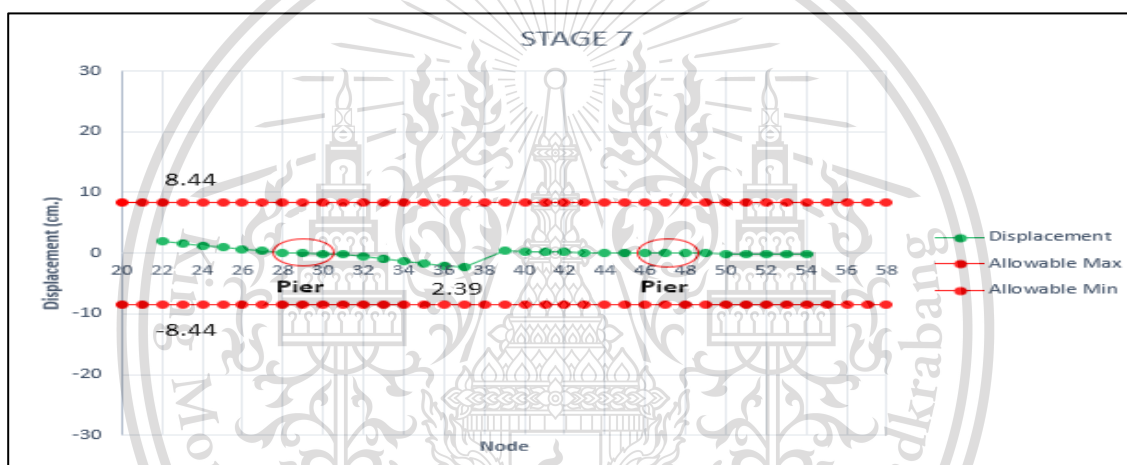
V_s คือ ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ในเหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่เบี่ยงเบนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

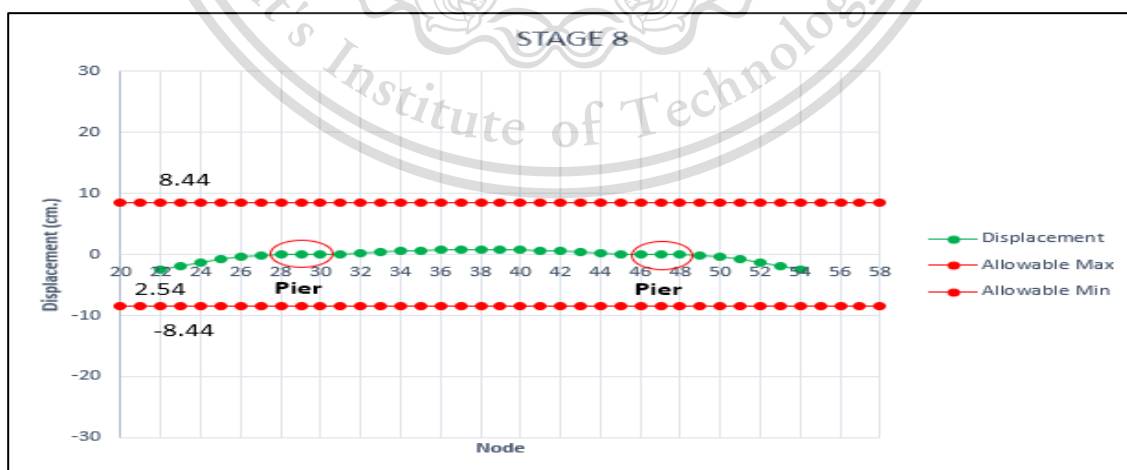
4.4 ระยะเวลาแอมป์ตัวของสะพาน

จากการวิเคราะห์ค่าการแอมป์ตัว พบว่าค่าการแอมป์ตัวในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 7 มีค่า 2.39 เซนติเมตร ขณะที่ค่าการแอมป์ตัวในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 8 มีค่า 2.54 เซนติเมตร ขณะที่ค่าการแอมป์ตัวในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 9 มีค่า 0.97 เซนติเมตร ขณะที่ค่าการแอมป์ตัวในขั้นตอนการก่อสร้างที่ 10 มีค่า 0.99 เซนติเมตร ขณะที่ค่าการแอมป์ตัวในขั้นตอนขณะใช้งาน มีค่า 1.01 เซนติเมตร ค่าการแอมป์ตัวที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับค่าการแอมป์ตัวที่ยอมให้ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระยะเวลาแอมป์ตัวที่ยอมให้ ($L/800$: LRFD) หรือเท่ากับ 8.44 เซนติเมตร

ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4-1 ถึง 4.4-5



รูปที่ 4.4-1 ระยะเวลาแอมป์ตัวของสะพานในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 7

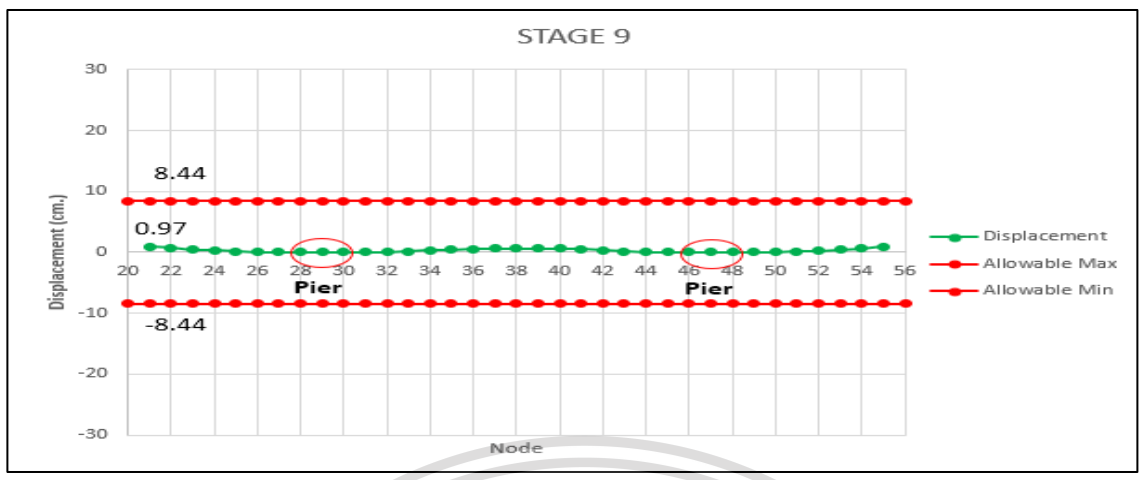


รูปที่ 4.4-2 ระยะเวลาแอมป์ตัวของสะพานในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 8

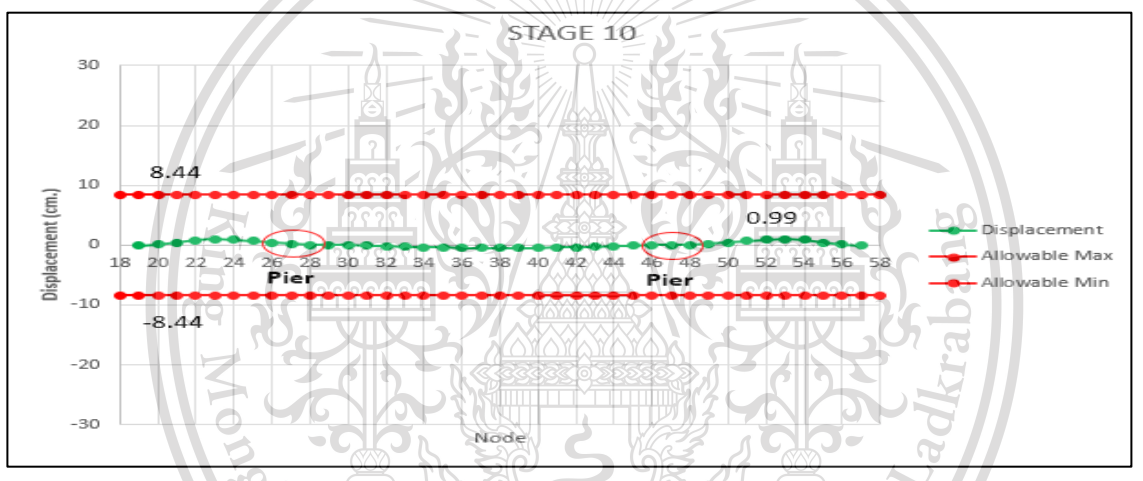
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

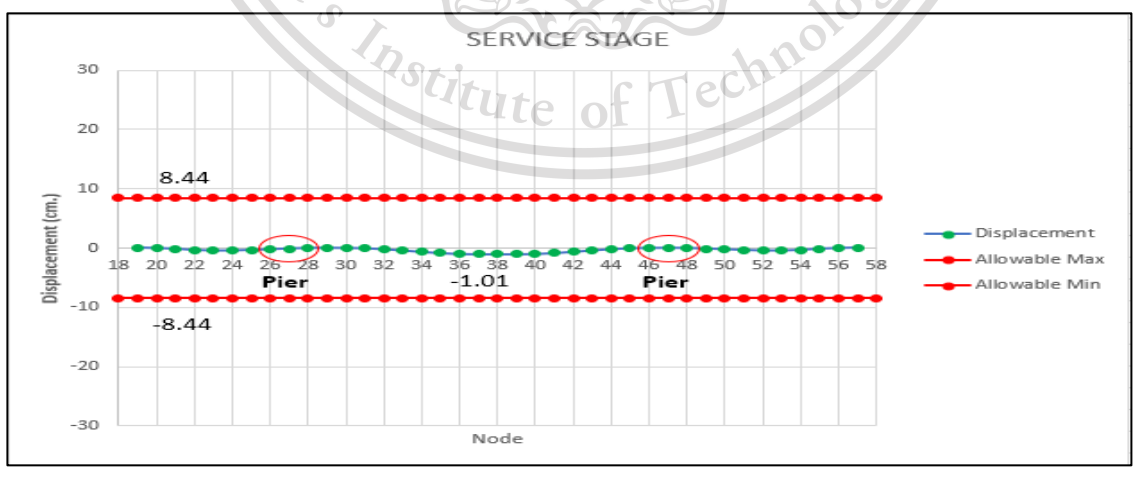
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.4-3 ระยะการแอ่นตัวของสะพานในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 9



รูปที่ 4.4-4 ระยะการแอ่นตัวของสะพานในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอนที่ 10



เอกสารนี้เป็นเอกสาร รูปที่ 4.4-5 ระยะการแอ่นตัวของสะพานในขั้นตอนการก่อสร้างขั้นตอน service stage ยখনด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานรถไฟฟ้ามะแมเมื่อมีการก่อสร้างแบบคานยื่น สมดุลโดยจะศึกษา พิจารณาน้ำหนักแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ลวดอัดแรง กำลังรับแรงเฉือนในหน้าตัด โครงสร้างสะพาน และค่าการโก่งตัวของชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในแต่ละ ขั้นตอนการก่อสร้าง 5 ขั้นตอนประกอบด้วย ขั้นตอนที่ 7, ขั้นตอนที่ 8, ขั้นตอนที่ 9, ขั้นตอนที่ 10, และใน ขั้นตอนสุดท้ายที่สะพานรับน้ำหนักกระทำของน้ำหนักบรรทุกทุกตามมาตรฐานของรถไฟฟ้ามะแมหนึ่งคันจำนวน สามโบกี้

โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

- (1) ผลการศึกษาวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นทั้งผิวบนและผิวล่างของคอนกรีต ในขั้นตอนการ ก่อสร้างทั้ง 4 ขั้นตอน และขั้นตอนรับน้ำหนักกระทำของรถไฟฟ้ามะแม พบว่า ขั้นตอนที่ 7 มีค่าหน่วยแรงอัดเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 67.55 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่ผิวบน ขั้นตอนที่ 8 มีค่าหน่วยแรงอัดเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 94.87 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่ผิวล่าง ขั้นตอนที่ 9 มีค่าหน่วยแรงอัดเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 111.17 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่ผิวบน ขั้นตอนที่ 10 มีค่าหน่วยแรงอัดเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 115.85 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่ผิวบน ขั้นตอนที่ สะพานรับน้ำหนักกระทำของรถไฟฟ้ามะแม มีค่าหน่วยแรงอัดเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 95.66 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ผิวล่าง

โดยจะเห็นว่าค่าหน่วยแรงของคอนกรีตเกิดขึ้นสูงสุดขณะขั้นตอนก่อสร้าง ในขั้นตอนที่ 10 เท่ากับ 115.85 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และไม่มีค่าหน่วยแรงค่าไหนเกินค่าหน่วยแรงที่ยอม ให้ขณะก่อสร้างและขณะรับน้ำหนักบรรทุก ในทุกขั้นตอน

- (2) ผลการศึกษาวิเคราะห์หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในลวดเกิดขึ้นในลวดอัดแรงภายหลังการสูญเสียแรง ดึงในขั้นตอนการก่อสร้างทั้ง 4 ขั้นตอน และขั้นตอนรับน้ำหนักกระทำของรถไฟฟ้ามะแม พบว่า ขั้นตอนที่ 7 มีค่าหน่วยแรงเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 12,813.10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขั้นตอนที่ 8 มีค่าหน่วยแรงเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 12881.36 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขั้นตอนที่ 9 มีค่าหน่วยแรงเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 12,877.70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชั้นตอนที่ 10 มีค่าหน่วยแรงเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 12,728.40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
ชั้นตอนที่ สะพานรับน้ำหนักกระทำของรถไฟฟ้า BTS มีค่าหน่วยแรงเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ
12,072.20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

โดยจะเห็นว่าค่าหน่วยแรงดึงของลวดอัดแรงเกิดขึ้นสูงสุดขณะชั้นตอนก่อสร้าง ในชั้นตอนที่ 8
เท่ากับ 12881.36 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และไม่มีค่าหน่วยแรงดึงค่าไหนเกินค่าหน่วยแรง
ที่ยอมให้ ในทุกชั้นตอน

- (3) ผลการศึกษาวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดสะพานที่เกิดขึ้นในชั้นตอนการก่อสร้างทั้ง 4
ชั้นตอน และชั้นตอนรับน้ำหนักกระทำของรถไฟฟ้า BTS พบว่า

ชั้นตอนที่ 7 มีค่าหน่วยแรงเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 728,307.00 กิโลกรัม

ชั้นตอนที่ 8 มีค่าหน่วยแรงเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 797,931.00 กิโลกรัม

ชั้นตอนที่ 9 มีค่าหน่วยแรงเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 796,800.00 กิโลกรัม

ชั้นตอนที่ 10 มีค่าหน่วยแรงเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 866,422.00 กิโลกรัม

ชั้นตอนที่ สะพานรับน้ำหนักกระทำของรถไฟฟ้า BTS มีค่าหน่วยแรงเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ
1,070,093 กิโลกรัม

โดยจะเห็นว่าค่าหน่วยแรงเฉือนในคอนกรีตและเหล็กเสริมในหน้าตัดเกิดขึ้นสูงสุดขณะชั้นตอนรับ
น้ำหนักกระทำจากรถไฟฟ้า BTS มีค่าเท่ากับ 1,070,093 กิโลกรัม และไม่มีค่าหน่วยแรงเฉือนค่า
ไหนเกินค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของโครงสร้าง ในทุกชั้นตอน

- (4) ผลการศึกษาวิเคราะห์ค่าการโก่งตัวของสะพานในชั้นตอนการก่อสร้างทั้ง 4 ชั้นตอน และชั้นตอน
รับน้ำหนักกระทำของรถไฟฟ้า BTS พบว่า

ชั้นตอนที่ 7 มีค่าการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 2.39 เซนติเมตร เป็นการโก่งตัวลง

ชั้นตอนที่ 8 มีค่าการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 2.55 เซนติเมตร เป็นการโก่งตัวลง

ชั้นตอนที่ 9 มีค่าการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 0.97 เซนติเมตร เป็นการโก่งตัวขึ้น

ชั้นตอนที่ 10 มีค่าการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 0.99 เซนติเมตร เป็นการโก่งตัวขึ้น

ชั้นตอนที่ สะพานรับน้ำหนักกระทำของรถไฟฟ้า BTS มีค่าการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 1.01
เซนติเมตร เป็นการโก่งตัวลง

โดยจะเห็นว่าค่าการโก่งตัวสูงสุดในชั้นส่วนโครงสร้างเกิดขึ้นสูงสุดขณะชั้นตอนก่อสร้างจาก
รถไฟฟ้า BTS มีค่าเท่ากับ 2.55 เซนติเมตร เป็นการโก่งตัวลง และไม่มีค่าการโก่งตัวค่าไหนเกิน

ค่าการโก่งตัวที่ยอมให้ของโครงสร้าง ในทุกชั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การก่อสร้างสะพานรถไฟฟ้าคานยี่นสมดุตามแบบก่อสร้างที่ผู้ทำการศึกษานำมาวิเคราะห์นั้น สามารถจำแนกตามพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานและนำมาศึกษาเป็นขั้นตอนการก่อสร้างหลัก ๆ ได้ 5 ขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีค่า หน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ลวดอัดแรง กำลังรับแรงเฉือนในหน้าตัด โครงสร้างสะพาน และค่าการโก่งตัวของชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน ที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการออกแบบควรจะต้องคำนึงถึงการวิเคราะห์ห้ออกแบบหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรงในทุกขั้นตอนการก่อสร้างเพื่อให้โครงสร้างสะพานสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ทั้งตอนใช้งานและการก่อสร้าง

2. ควรศึกษารายละเอียดและการใช้งานโปรแกรมและนำข้อมูลการวิเคราะห์หน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ลวดอัดแรง เหล็กเสริม และค่าการโก่งตัวของชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน ในงานวิจัยนี้ ไปปรับใช้ศึกษาตามความเหมาะสม เพราะในโครงการพิเศษนี้ศึกษาในขอบเขตที่จำกัดเช่น การไม่พิจารณาแรงต้านข้างเช่นแรงลมและแรงแผ่นดินไหว เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมและศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] สุทธิพงษ์ ชมพิกุล และ ธรรมบุญ สุสำเภา. (2560) ผลกระทบต่อการโค้ง ตัวและความเค้นในสะพานคานยื่นสมดุลเนื่องจากการปรับแผนงานก่อสร้าง วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
- [2] ภูมิเกียรติ สว่างวงศ์. (2559) การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงที่ก่อสร้างแบบคานยื่นสมดุลตาม ASSHTO LRFD วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] อัญญวิทย์ สุจริตพงศ์, วรียส ธีรคุลย์กุล และ ภูมิเกียรติ สว่างวงศ์. (2562) การเปรียบเทียบพฤติกรรมของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในสะพานคอนกรีตอัดแรง เมื่อรับน้ำหนักของรถบรรทุกไทยตามข้อกำหนดใหม่ของกรมทางหลวง และรถบรรทุกตามมาตรฐานของสมาคมทางและการขนส่งสหรัฐอเมริกา (AASHTO-HL93) วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] Balanced Cantilever Method of Bridge Construction [ออนไลน์]
เข้าถึงได้จาก: <https://theconstructor.org/structures/balanced-cantilever-method-bridge-construction/6137/> (วันที่สืบค้นข้อมูล: 15 กันยายน 2563).
- [5] วิธีการก่อสร้างแบบ Balance Cantilever [ออนไลน์]
เข้าถึงได้จาก: <http://52010310787.blogspot.com/2012/09/balance-cantilever.html> (วันที่สืบค้นข้อมูล: 18 กันยายน 2563).
- [6] นเรศ พันธธาร. (2543) หนังสือการออกแบบคอนกรีตอัดแรง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
- [7] บวรพันธุ์ วงศ์อนันต์. (2557) วิธีการก่อสร้าง Balanced cantilever สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย FREYSSINET (THAILAND) Ltd.,
- [8] American Association of State Highway and Transport Officials Standard by Load and Resistance Factor Design (AASHTO LRFD): (2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก-1 ตารางข้อมูลดิบของ Stress in concrete ในขั้นตอนของการก่อสร้าง (Top fiber)

| Elem | FT (ksc.) | | | | Alw. Compressive (ksc.) | Alw. Tension (ksc.) |
|------|-----------|--------|--------|---------|-------------------------|----------------------|
| | CS7 | CS8 | CS9 | CS10 | | |
| 13 | | | | -3.11 | -192 | 28.50 |
| 14 | | | | -8.07 | -192 | 28.50 |
| 15 | | | -18.41 | -21.55 | -192 | 28.50 |
| 16 | -11.67 | -14.37 | -33.09 | -30.98 | -192 | 28.50 |
| 17 | -22.57 | -23.20 | -43.00 | -46.10 | -192 | 28.50 |
| 18 | -29.38 | -28.90 | -47.98 | -55.12 | -192 | 28.50 |
| 19 | -34.41 | -32.93 | -51.10 | -65.11 | -192 | 28.50 |
| 20 | -38.02 | -36.05 | -53.22 | -72.45 | -192 | 28.50 |
| 21 | -44.01 | -39.07 | -55.44 | -78.99 | -192 | 28.50 |
| 22 | -17.79 | -8.43 | -18.24 | -31.84 | -192 | 28.50 |
| 23 | -18.51 | -38.71 | -48.34 | -49.83 | -192 | 28.50 |
| 24 | -45.01 | -74.21 | -87.03 | -96.14 | -192 | ขีดเกิน(ค่า) แนวตั้ง |
| 25 | -58.95 | -89.11 | -95.17 | -109.62 | -192 | 28.50 |
| 26 | -54.62 | -85.53 | -90.96 | -106.01 | -192 | 28.50 |
| 27 | -49.06 | -80.16 | -85.28 | -86.75 | -192 | 28.50 |
| 28 | -42.16 | -71.67 | -55.10 | -69.33 | -192 | 28.50 |
| 29 | -32.61 | -57.07 | -43.56 | -52.98 | -192 | 28.50 |
| 30 | -16.15 | -38.51 | -25.38 | -33.07 | -192 | 28.50 |
| 31 | | -21.22 | -6.00 | -13.40 | -192 | 28.50 |
| 32 | | -20.71 | -6.21 | -13.40 | -192 | 28.50 |
| 33 | -13.66 | -41.65 | -25.58 | -34.76 | -192 | 28.50 |
| 34 | -26.84 | -59.17 | -43.91 | -50.76 | -192 | 28.50 |
| 35 | -35.41 | -73.62 | -55.44 | -72.57 | -192 | 28.50 |
| 36 | -42.41 | -81.69 | -77.32 | -91.66 | -192 | 28.50 |
| 37 | -48.17 | -86.77 | -91.89 | -111.96 | -192 | 28.50 |
| 38 | -52.75 | -90.08 | -95.94 | -115.85 | -192 | 28.50 |
| 39 | -47.28 | -74.72 | -87.58 | -101.26 | -192 | 28.50 |
| 40 | -19.95 | -38.60 | -48.00 | -51.38 | -192 | 28.50 |
| 41 | -17.70 | -3.70 | -13.57 | -33.00 | -192 | 28.50 |
| 42 | -43.52 | -38.60 | -54.86 | -67.45 | -192 | 28.50 |
| 43 | -37.47 | -35.68 | -52.72 | -62.01 | -192 | 28.50 |
| 44 | -33.85 | -32.35 | -50.37 | -55.19 | -192 | 28.50 |
| 45 | -28.86 | -28.35 | -47.29 | -46.56 | -192 | 28.50 |
| 46 | -21.70 | -22.67 | -42.23 | -35.07 | -192 | 28.50 |
| 47 | -11.63 | -13.08 | -31.74 | -26.42 | -192 | 28.50 |
| 48 | | | -18.35 | -10.03 | -192 | 28.50 |
| 49 | | | | -9.13 | -192 | 28.50 |
| 50 | | | | -3.63 | -192 | 28.50 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก-2 ตารางข้อมูลดิบของ Stress in concrete ในขั้นตอนของการก่อสร้าง (bottom Fiber)

| Elem | FB (ksc.) | | | | Alw. Compressive (ksc.) | Alw. Tension (ksc.) |
|------|----------------------|--------|---------|---------|-------------------------|---------------------|
| | CS7 | CS8 | CS9 | CS10 | | |
| 13 | | | | -22.64 | -192 | 28.50 |
| 14 | | | | -54.02 | -192 | 28.50 |
| 15 | ชื่อแกน(ค่า) แนวตั้ง | | -15.42 | -65.01 | -192 | 28.50 |
| 16 | -2.18 | -8.73 | -32.74 | -83.74 | -192 | 28.50 |
| 17 | -9.91 | -27.05 | -51.81 | -84.90 | -192 | 28.50 |
| 18 | -22.62 | -46.94 | -67.45 | -77.79 | -192 | 28.50 |
| 19 | -35.50 | -63.24 | -77.81 | -60.40 | -192 | 28.50 |
| 20 | -45.88 | -74.28 | -83.18 | -45.40 | -192 | 28.50 |
| 21 | -53.05 | -80.43 | -83.85 | -41.02 | -192 | 28.50 |
| 22 | -36.91 | -56.92 | -59.94 | -26.60 | -192 | 28.50 |
| 23 | -41.71 | -5.01 | 4.17 | -0.92 | -192 | 28.50 |
| 24 | -65.20 | -12.13 | -8.32 | -8.02 | -192 | 28.50 |
| 25 | -59.82 | -22.38 | -14.05 | -13.52 | -192 | 28.50 |
| 26 | -54.91 | -38.78 | -32.22 | -30.66 | -192 | 28.50 |
| 27 | -44.34 | -54.04 | -56.73 | -53.20 | -192 | 28.50 |
| 28 | -28.92 | -70.62 | -77.83 | -72.22 | -192 | 28.50 |
| 29 | -12.50 | -92.80 | -105.10 | -96.59 | -192 | 28.50 |
| 30 | -3.98 | -87.37 | -103.36 | -98.50 | -192 | 28.50 |
| 31 | | -84.27 | -105.80 | -104.15 | -192 | 28.50 |
| 32 | | -84.26 | -105.94 | -104.11 | -192 | 28.50 |
| 33 | -2.71 | -84.33 | -103.39 | -99.29 | -192 | 28.50 |
| 34 | -7.81 | -89.03 | -103.90 | -99.42 | -192 | 28.50 |
| 35 | -19.76 | -67.84 | -76.93 | -73.04 | -192 | 28.50 |
| 36 | -33.03 | -52.36 | -56.23 | -52.77 | -192 | 28.50 |
| 37 | -42.82 | -37.51 | -31.23 | -28.32 | -192 | 28.50 |
| 38 | -54.33 | -21.51 | -13.04 | -10.50 | -192 | 28.50 |
| 39 | -56.74 | -12.27 | -2.31 | -5.91 | -192 | 28.50 |
| 40 | -33.73 | -5.37 | 3.96 | 0.50 | -192 | 28.50 |
| 41 | -37.02 | -57.03 | -59.99 | -25.73 | -192 | 28.50 |
| 42 | -53.28 | -80.38 | -83.85 | -40.38 | -192 | 28.50 |
| 43 | -46.24 | -74.30 | -83.33 | -56.47 | -192 | 28.50 |
| 44 | -35.86 | -63.24 | -77.82 | -60.66 | -192 | 28.50 |
| 45 | -23.01 | -47.06 | -67.48 | -78.80 | -192 | 28.50 |
| 46 | -9.56 | -26.67 | -51.49 | -86.87 | -192 | 28.50 |
| 47 | -2.45 | -8.96 | -32.60 | -87.86 | -192 | 28.50 |
| 48 | | | -15.42 | -66.02 | -192 | 28.50 |
| 49 | | | | -55.28 | -192 | 28.50 |
| 50 | | | | -23.07 | -192 | 28.50 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก-3 ตารางข้อมูลดิบของ Stress in concrete ในชั้นตอนของรับน้ำหนักบรรทุก (Top fiber และ Bottom Fiber)

| Elem | FT (ksc.) | FB (ksc.) | Allow. (Compressive) ksc. | Allow. (Tension) ksc. |
|------|-----------|-----------|---------------------------|-----------------------|
| 13 | 0.96 | -0.30 | -180 | 31.86 |
| 14 | -5.95 | 6.22 | -180 | 31.86 |
| 15 | -13.06 | 12.19 | -180 | 31.86 |
| 16 | -23.26 | 12.87 | -180 | 31.86 |
| 17 | -24.18 | 12.88 | -180 | 31.86 |
| 18 | -23.94 | 10.34 | -180 | 31.86 |
| 19 | -23.94 | 6.11 | -180 | 31.86 |
| 20 | -17.10 | -4.07 | -180 | 31.86 |
| 21 | -13.09 | -6.40 | -180 | 31.86 |
| 22 | 4.81 | -6.89 | -180 | 31.86 |
| 23 | 6.73 | -10.68 | -180 | 31.86 |
| 24 | -27.26 | -13.41 | -180 | 31.86 |
| 25 | -37.65 | -10.31 | -180 | 31.86 |
| 26 | -46.89 | -6.54 | -180 | 31.86 |
| 27 | -64.47 | 3.37 | -180 | 31.86 |
| 28 | -81.25 | 9.65 | -180 | 31.86 |
| 29 | -81.58 | 14.36 | -180 | 31.86 |
| 30 | -69.89 | 15.67 | -180 | 31.86 |
| 31 | -53.37 | 15.68 | -180 | 31.86 |
| 32 | -53.66 | 15.68 | -180 | 31.86 |
| 33 | -71.65 | 15.67 | -180 | 31.86 |
| 34 | -84.20 | 14.36 | -180 | 31.86 |
| 35 | -85.51 | 9.66 | -180 | 31.86 |
| 36 | -75.93 | 3.38 | -180 | 31.86 |
| 37 | -64.13 | -6.53 | -180 | 31.86 |
| 38 | -42.55 | -10.29 | -180 | 31.86 |
| 39 | -32.05 | -13.40 | -180 | 31.86 |
| 40 | 6.72 | -11.88 | -180 | 31.86 |
| 41 | 4.71 | -6.89 | -180 | 31.86 |
| 42 | -12.84 | -6.39 | -180 | 31.86 |
| 43 | -16.82 | -4.07 | -180 | 31.86 |
| 44 | -21.97 | 6.14 | -180 | 31.86 |
| 45 | -23.56 | 10.37 | -180 | 31.86 |
| 46 | -21.37 | 11.77 | -180 | 31.86 |
| 47 | -23.39 | 12.89 | -180 | 31.86 |
| 48 | -12.51 | 12.20 | -180 | 31.86 |
| 49 | -6.41 | 6.23 | -180 | 31.86 |
| 50 | 0.24 | -0.30 | -180 | 31.86 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก-4 ตารางข้อมูลดิบของค่า Shear Force ในขณะก่อสร้างและขณะรับน้ำหนักบรรทุกทุก

| Elem | Shear Force(kgf) | | | | | | |
|------|------------------|---------|---------|---------|---------------|---------|----------|
| | CS7 | CS8 | CS9 | CS10 | Service stage | ALW | ALW |
| 13 | | | | -318957 | -304986 | 1297943 | -1297943 |
| 14 | | | | -266748 | -244857 | 1297943 | -1297943 |
| 15 | | | 68896 | -209943 | -177138 | 1297943 | -1297943 |
| 16 | 68904 | 151689 | 150588 | -90127 | 59881 | 1297943 | -1297943 |
| 17 | 152805 | 235584 | 234470 | 144827 | 199710 | 1297943 | -1297943 |
| 18 | 240639 | 323412 | 322282 | 257625 | 347124 | 1297943 | -1297943 |
| 19 | 334383 | 417154 | 416011 | 383652 | 499346 | 1297943 | -1297943 |
| 20 | 436070 | 518840 | 517686 | 522904 | 662456 | 1297943 | -1297943 |
| 21 | 547786 | 630544 | 629388 | 674258 | 830384 | 1297943 | -1297943 |
| 22 | 650939 | 733771 | 732628 | 802104 | 984436 | 1297943 | -1297943 |
| 23 | -728307 | -673374 | -640916 | -863903 | -1070093 | 1297943 | -1297943 |
| 24 | -663057 | -646595 | -618849 | -809126 | -1008595 | 1297943 | -1297943 |
| 25 | -616509 | -596272 | -568074 | -756518 | -940961 | 1297943 | -1297943 |
| 26 | -508469 | -481906 | -452908 | -630390 | -775992 | 1297943 | -1297943 |
| 27 | -411162 | -378509 | -348728 | -510932 | -619545 | 1297943 | -1297943 |
| 28 | -322395 | -282902 | -252398 | -397668 | -469255 | 1297943 | -1297943 |
| 29 | -239968 | -194089 | -162797 | -289989 | -325636 | 1297943 | -1297943 |
| 30 | -161931 | -109912 | -77867 | -187669 | -186512 | 1297943 | -1297943 |
| 31 | | 20149 | -16357 | -112157 | -81321 | 1297943 | -1297943 |
| 32 | | 36933 | 459 | -91076 | -51153 | 1297943 | -1297943 |
| 33 | 68902.66 | 56192 | 19974.4 | 112264 | 60119 | 1297943 | -1297943 |
| 34 | 127983 | 121476 | 86009.1 | 188620 | 168025 | 1297943 | -1297943 |
| 35 | 205962 | 205716 | 171041 | 290401 | 305832 | 1297943 | -1297943 |
| 36 | 288255.5 | 294804 | 260984 | 397701 | 448704 | 1297943 | -1297943 |
| 37 | 376799.9 | 389456 | 356271 | 510568 | 596550 | 1297943 | -1297943 |
| 38 | 473730 | 492757 | 460359 | 629711 | 752048 | 1297943 | -1297943 |
| 39 | 581887 | 604499 | 572573 | 755856 | 916038 | 1297943 | -1297943 |
| 40 | 629954 | 614142 | 577504 | 801864 | 973547 | 1297943 | -1297943 |
| 41 | -715134 | -797931 | -796800 | -866422 | -1058524 | 1297943 | -1297943 |
| 42 | -650428 | -733069 | -731962 | -800973 | -984920 | 1297943 | -1297943 |
| 43 | -548401 | -631064 | -629961 | -674589 | -833096 | 1297943 | -1297943 |
| 44 | -436505 | -519225 | -518111 | -523054 | -664349 | 1297943 | -1297943 |
| 45 | -334562 | -417331 | -416204 | -383471 | -500064 | 1297943 | -1297943 |
| 46 | -240656 | -323455 | -322318 | -257175 | -346884 | 1297943 | -1297943 |
| 47 | -152696 | -235521 | -234361 | -144065 | -198365 | 1297943 | -1297943 |
| 48 | | | -150452 | 91217 | -57858 | 1297943 | -1297943 |
| 49 | | | | 210899 | 178989 | 1297943 | -1297943 |
| 50 | | | | 267347 | 245201 | 1297943 | -1297943 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก-5 ตารางข้อมูลดิบของค่า Tensile Stress ในขณะก่อสร้างและขณะรับน้ำหนักบรรทุก

| Tendon | AFL1 (ksc) | CS7 | | CS8 | | CS9 | | CS10 | | Service stage | |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|------------|
| | | FLL1 (ksc) | FLL1 (ksc) | FLL1 (ksc) | FLL1 (ksc) | FLL1 (ksc) | FLL1 (ksc) | FLL1 (ksc) | FLL1 (ksc) | FLL1 (ksc) | FLL1 (ksc) |
| FT-L-L | 12889.21 | 4307.04 | 4379.39 | 4311.73 | 4179.36 | 3682.09 | | | | | |
| FT-L-R | 12889.21 | 4307.03 | 4379.38 | 4311.72 | 4179.35 | 3682.07 | | | | | |
| FT-R-L | 12889.21 | 4277.43 | 4380.42 | 4312.76 | 4246.31 | 3692.18 | | | | | |
| FT-R-R | 12889.21 | 4277.29 | 4380.31 | 4312.65 | 4246.30 | 3691.81 | | | | | |
| T11-L-L | 12889.21 | 12110.76 | 12181.49 | 12093.46 | 11904.52 | 11288.30 | | | | | |
| T11-L-R | 12889.21 | 12110.74 | 12181.48 | 12093.45 | 11904.50 | 11288.27 | | | | | |
| T11-R-L | 12889.21 | 12093.33 | 12180.75 | 12096.32 | 12013.36 | 11298.07 | | | | | |
| T11-R-R | 12889.21 | 12093.10 | 12180.58 | 12096.20 | 12013.35 | 11297.46 | | | | | |
| T12-L-L | 12889.21 | 12812.28 | 12865.05 | 12780.75 | 12585.52 | 11984.72 | | | | | |
| T12-L-R | 12889.21 | 12812.26 | 12865.04 | 12780.75 | 12585.49 | 11984.69 | | | | | |
| T12-R-L | 12889.21 | 12773.47 | 12863.54 | 12779.23 | 12693.70 | 11993.80 | | | | | |
| T12-R-R | 12889.21 | 12773.22 | 12863.34 | 12779.10 | 12693.68 | 11993.12 | | | | | |
| T13-L-L | 12889.21 | 12813.14 | 12881.56 | 12877.68 | 12679.34 | 12072.22 | | | | | |
| T13-L-R | 12889.21 | 12813.13 | 12881.36 | 12877.67 | 12679.32 | 12072.20 | | | | | |
| T13-R-L | 12889.21 | 12765.57 | 12880.76 | 12832.33 | 12728.38 | 12037.45 | | | | | |
| T13-R-R | 12889.21 | 12765.37 | 12880.80 | 12832.12 | 12728.37 | 12036.93 | | | | | |
| T14-L-L | 12889.21 | 12623.60 | 12862.37 | 12726.26 | 12348.58 | 11616.46 | | | | | |
| T14-L-R | 12889.21 | 12623.60 | 12862.37 | 12726.26 | 12348.60 | 11616.44 | | | | | |
| T14-R-L | 12889.21 | 12608.19 | 12845.14 | 12710.62 | 12523.77 | 11606.21 | | | | | |
| T14-R-R | 12889.21 | 12607.66 | 12844.72 | 12710.21 | 12523.72 | 11605.51 | | | | | |
| T15-L-L | 12889.21 | 12631.11 | 12861.00 | 12727.55 | 12365.96 | 11460.29 | | | | | |
| T15-L-R | 12889.21 | 12631.11 | 12861.00 | 12727.55 | 12365.98 | 11460.38 | | | | | |
| T15-R-L | 12889.21 | 12615.76 | 12842.82 | 12711.01 | 12536.10 | 11463.54 | | | | | |
| T15-R-R | 12889.21 | 12615.38 | 12842.52 | 12710.71 | 12536.06 | 11462.76 | | | | | |
| T16-L-L | 12889.21 | 12598.23 | 12786.42 | 12662.47 | 12372.81 | 11364.19 | | | | | |
| T16-L-R | 12889.21 | 12598.23 | 12786.42 | 12662.47 | 12372.83 | 11364.35 | | | | | |
| T16-R-L | 12889.21 | 12546.63 | 12583.87 | 12569.38 | 12426.28 | 11206.78 | | | | | |
| T16-R-R | 12889.21 | 12554.31 | 12591.85 | 12577.36 | 12434.42 | 11208.94 | | | | | |
| T17-L-L | 12889.21 | | | 12674.31 | 12416.38 | 11445.07 | | | | | |
| T17-L-R | 12889.21 | | | 12674.31 | 12416.40 | 11445.17 | | | | | |
| T17-R-L | 12889.21 | | | 12673.38 | 12555.51 | 11451.99 | | | | | |
| T17-R-R | 12889.21 | | | 12673.12 | 12555.48 | 11451.92 | | | | | |
| T30-L-L | 12889.20 | | | | 11892.80 | 11147.60 | | | | | |
| T30-L-R | 12889.20 | | | | 11892.86 | 11147.70 | | | | | |
| T30-R-L | 12889.20 | | | | 12238.60 | 11296.98 | | | | | |
| T30-R-R | 12889.20 | | | | 12238.57 | 11297.01 | | | | | |
| T31-L-L | 12889.20 | | | | 12289.43 | 11395.74 | | | | | |
| T31-L-R | 12889.20 | | | | 12289.44 | 11395.86 | | | | | |
| T31-R-L | 12889.20 | | | | 12547.74 | 11673.90 | | | | | |
| T31-R-R | 12889.20 | | | | 12547.47 | 11673.54 | | | | | |
| T32-L-L | 12889.20 | | | | 12449.96 | 11770.59 | | | | | |
| T32-L-R | 12889.20 | | | | 12449.98 | 11770.69 | | | | | |
| T32-R-L | 12889.20 | | | | 12639.65 | 11761.83 | | | | | |
| T32-R-R | 12889.20 | | | | 12639.45 | 11761.55 | | | | | |
| T40-L | 12889.21 | | 12297.60 | 12326.00 | 12206.40 | 11271.15 | | | | | |
| T40-R | 12889.21 | | 12297.62 | 12326.02 | 12206.36 | 11271.15 | | | | | |
| T41-L | 12889.21 | | 12360.45 | 12366.85 | 12257.57 | 11382.35 | | | | | |
| T41-R | 12889.21 | | 12360.48 | 12366.88 | 12257.49 | 11382.29 | | | | | |
| T42-L | 12889.21 | | 12420.25 | 12412.46 | 12146.84 | 11454.12 | | | | | |
| T42-R | 12889.21 | | 12420.29 | 12412.49 | 12146.77 | 11454.26 | | | | | |
| T43-L | 12889.21 | | 12410.42 | 12383.22 | 12169.83 | 11375.97 | | | | | |
| T43-R | 12889.21 | | 12410.47 | 12383.26 | 12169.59 | 11376.14 | | | | | |
| T44-L | 12889.21 | | 12064.92 | 12048.04 | 12004.87 | 11047.67 | | | | | |
| T44-R | 12889.21 | | 12064.63 | 12047.80 | 12004.71 | 11047.06 | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก-6 ตารางข้อมูลคิขของค่า Displacement ในขณะก่อสร้างและขณะรับน้ำหนักบรรทุก

| Node | Displacement (cm) | | | | | Allow.(cm.) | Allow.(cm.) |
|------|-------------------|-------|-------|-------|---------------|-------------|-------------|
| | CS7 | CS8 | CS9 | CS10 | Service stage | | |
| 19 | | | | 0.03 | 0.03 | 8.44 | -8.44 |
| 20 | | | | -0.03 | -0.03 | 8.44 | -8.44 |
| 21 | | | 0.97 | -0.12 | -0.14 | 8.44 | -8.44 |
| 22 | 1.93 | -2.54 | 0.71 | -0.28 | -0.33 | 8.44 | -8.44 |
| 23 | 1.58 | -1.88 | 0.48 | -0.34 | -0.42 | 8.44 | -8.44 |
| 24 | 1.25 | -1.30 | 0.29 | -0.30 | -0.42 | 8.44 | -8.44 |
| 25 | 0.94 | -0.82 | 0.16 | 0.29 | -0.33 | 8.44 | -8.44 |
| 26 | 0.63 | -0.45 | 0.07 | 0.22 | -0.22 | 8.44 | -8.44 |
| 27 | 0.32 | -0.19 | 0.02 | 0.08 | -0.11 | 8.44 | -8.44 |
| 28 | 0.07 | -0.04 | 0.00 | -0.12 | -0.03 | 8.44 | -8.44 |
| 29 | -0.01 | 0.00 | 0.00 | -0.19 | -0.01 | 8.44 | -8.44 |
| 30 | -0.08 | 0.03 | 0.00 | -0.27 | -0.03 | 8.44 | -8.44 |
| 31 | -0.20 | 0.08 | 0.01 | -0.40 | -0.08 | 8.44 | -8.44 |
| 32 | -0.52 | 0.30 | 0.07 | -0.74 | -0.23 | 8.44 | -8.44 |
| 33 | -0.86 | 0.60 | 0.17 | -1.10 | -0.42 | 8.44 | -8.44 |
| 34 | -1.24 | 0.97 | 0.33 | -1.43 | -0.64 | 8.44 | -8.44 |
| 35 | -1.64 | 1.34 | 0.47 | -1.71 | -0.84 | 8.44 | -8.44 |
| 36 | -2.06 | 1.64 | 0.58 | -1.90 | -0.97 | 8.44 | -8.44 |
| 37 | -2.39 | 1.75 | 0.63 | -1.96 | -1.01 | 8.44 | -8.44 |
| 38 | | 1.76 | 0.64 | -1.96 | -1.01 | 8.44 | -8.44 |
| 39 | 1.15 | 1.75 | 0.63 | -1.96 | -1.01 | 8.44 | -8.44 |
| 40 | 0.90 | 1.62 | 0.60 | -1.92 | -0.97 | 8.44 | -8.44 |
| 41 | 0.62 | 1.31 | 0.49 | -1.76 | -0.84 | 8.44 | -8.44 |
| 42 | 0.39 | 0.93 | 0.35 | -1.49 | -0.64 | 8.44 | -8.44 |
| 43 | 0.23 | 0.57 | 0.19 | -1.16 | -0.42 | 8.44 | -8.44 |
| 44 | 0.11 | 0.28 | 0.08 | -0.79 | -0.22 | 8.44 | -8.44 |
| 45 | 0.03 | 0.08 | 0.02 | -0.42 | -0.08 | 8.44 | -8.44 |
| 46 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | -0.29 | -0.03 | 8.44 | -8.44 |
| 47 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.20 | -0.01 | 8.44 | -8.44 |
| 48 | -0.01 | -0.04 | 0.00 | -0.12 | -0.03 | 8.44 | -8.44 |
| 49 | -0.04 | -0.19 | -0.01 | 0.10 | -0.11 | 8.44 | -8.44 |
| 50 | -0.08 | -0.44 | 0.05 | 0.29 | -0.22 | 8.44 | -8.44 |
| 51 | -0.12 | -0.80 | 0.14 | 0.38 | -0.33 | 8.44 | -8.44 |
| 52 | 0.15 | -1.27 | 0.27 | 0.39 | -0.41 | 8.44 | -8.44 |
| 53 | 0.30 | -1.84 | 0.44 | -0.34 | -0.42 | 8.44 | -8.44 |
| 54 | 0.48 | -2.50 | 0.67 | -0.29 | -0.33 | 8.44 | -8.44 |
| 55 | | | 0.91 | -0.13 | -0.14 | 8.44 | -8.44 |
| 56 | | | | -0.03 | -0.03 | 8.44 | -8.44 |
| 57 | | | | -0.03 | 0.03 | 8.44 | -8.44 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.