

ผลกระทบต่อการโก่งตัวและความเค้นในสะพานคานยื่นสมดุล เนื่องจากการปรับแผนงานก่อสร้าง

Effects on Deflection and Stress in Balanced Cantilever Bridge due to Modification of Construction Plan

สุทธิพงษ์ ชมพิกุล ชรรมนบุญ สุสำเภา
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม SAP2000 ทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานคอนกรีตอัดแรงแบบคานยื่นสมดุลประเภทหล่อในที่ ตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวง กรณีที่มีช่วงหลักยาว 80 เมตร ซึ่งในการออกแบบได้ใช้มาตรฐาน ASSTHO LRFD 2012 โดยกำหนดระยะเวลาในการหล่อแต่ละชิ้นส่วน (T_s) เท่ากับ 7 วัน และกำหนดให้ใช้แบบหล่อที่เคลื่อนที่ได้ซึ่งมีน้ำหนัก (CE) 450 กิโลนิวตัน เปรียบเทียบกับกรณีที่มีการปรับแผนงานก่อสร้างเป็นใช้ค่า T_s เป็น 10, 13 หรือ 16 วัน หรือใช้ค่า CE เป็น 517.5, 585 หรือ 675 กิโลนิวตัน

จากการวิเคราะห์ทำให้ได้ค่าการโก่งตัวและความเค้นที่จุดต่างๆ และที่เวลาต่างๆ โดยได้นำค่าที่สำคัญคือ การโก่งตัวที่ต่างกันของปลายยื่นของคานทั้งสองข้างที่บริเวณกลางสะพานก่อนทำการเชื่อมต่อกัน (Δ') และค่าความเค้นที่บริเวณหัวเสาและที่กลางสะพานหลังทำการเชื่อมต่อกันแล้ว 10,000 วัน (σ) จากกรณีที่มีการก่อสร้างเป็นไปตามแผนงาน และมีการปรับแผนงาน มาเปรียบเทียบกันและแสดงในรูปของกราฟ โดยสรุปค่า Δ' มากที่สุดเป็น 40.5% เมื่อค่า T_s เท่ากับ 16 วัน และค่า CE เป็น 675 กิโลนิวตัน และค่า σ มากที่สุดเป็น 20.1% เมื่อค่า T_s เท่ากับ 16 วัน และค่า CE เป็น 675 กิโลนิวตัน

คำสำคัญ : สะพานคานยื่นสมดุล, การวิเคราะห์ตามขั้นตอนการก่อสร้าง, การปรับแผนงานก่อสร้าง

Abstract

In this research, SAP2000 program were employed to analyze a cast-in-situ pre-stressed concrete balanced cantilever bridge. Construction stages were taken into account. The bridge main span is 80 m and was designed according to AASHTO LRFD 2012 standard with 7 days/segment construction duration (T_s) using movable formworks with 450 kN weight each (CE). This was compared to cases where construction plan was adjusted, i.e., $T_s = 10, 13$, or 16 days and/or CE = 517.5, 585 or 675 kN.

From the analyses, deflections and stresses were obtained at various points and at various times. Important values are difference in deflections between cantilever ends of the beams at mid-span of the bridge before joining (Δ') and stresses in beams at pier segment and at mid-span at 10,000 days after joining (σ). The values in cases where construction was as planned and was adjusted were compared and shown in graphs. Δ' was maximal at 40.5% when T_s was 16 days and CE was 675 kN. σ was maximal at 20.1% when T_s was 16 days and CE was 675 kN.

Keywords : Balanced cantilever bridge, Analysis with construction stage, Modification of construction

1. บทนำ

การก่อสร้างสะพานข้ามลำน้ำ คลอง หรือแม่น้ำสายหลักที่มีความกว้างมาก โดยทั่วไปนิยมเลือกใช้วิธีการก่อสร้างแบบคานยื่นสมดุล (Balanced Cantilever Bridge)

พฤติกรรมของโครงสร้างสะพานแบบนี้ ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการก่อสร้าง (Construction Stage) ในการออกแบบรายละเอียดจึงต้องกำหนดขั้นตอนการก่อสร้างแล้ววิเคราะห์โครงสร้างตามที่กำหนด เมื่อมาทำการก่อสร้างจริงอาจมีการปรับแผนงานก่อสร้าง แต่ผู้ทำการก่อสร้างมักจะไม่ทำการวิเคราะห์โครงสร้างตามขั้นตอนการก่อสร้างใหม่ เนื่องจากมีความยุ่งยาก ซับซ้อน และใช้เวลานาน ค่าการโก่งตัว (Deflection) และค่าความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นในคานสะพานจึงแตกต่างจากที่เคยวิเคราะห์ไว้ และอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่สะพานได้

Bishara and Papakonstantinou [1] ทำการวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์การหล่อที่เพิ่มขึ้นของคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่องที่มีความลึกแตกต่างกัน ต่อมา Chiu et. al. [2] เสนอวิธีการควบคุมการโก่งตัวของโครงสร้างคานสะพาน จำเป็นต้องทำการอัดแรงในช่วงระยะเวลาที่เหมาะสม

Mondorf et. al. [3] ทางเลือกในการก่อสร้างสะพานโดยใช้สะพานเครมเมอร์ (Kramer) และสะพาน โรเซครานส์ (Rosecrans) ซึ่งบริเวณที่ทำการก่อสร้างเต็มไปด้วยขยะอันตราย และแยกที่มีการจราจรวุ่นวาย รวมถึงมีปัญหาในการตอกเสาเข็ม ซึ่งได้สรุปว่าในการเลือกใช้วิธีการก่อสร้างสะพานคานยื่นสมดุลถือว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด ต่อมา Lglesias [4] ศึกษาพฤติกรรมในระยะยาวของสะพานโดยใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูป และได้นำเสนอกระบวนการในการวิเคราะห์ 3 วิธีคือ เพิ่มระยะเวลาที่แน่นอนในแต่ละขั้นตอน ใช้วิธีอย่างง่ายในการรวมผลกระทบช่วงเวลาของการคืบและการหดตัว และเปรียบเทียบทั้งสองวิธี

จะเห็นว่าวิธีการรวมถึงกระบวนการในการก่อสร้างสะพาน จะมีผลกระทบต่อพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน หากมีการปรับแผนการก่อสร้าง ดังนั้นจึงได้

ทำการศึกษาระดับของผลกระทบจากการปรับแผนงานก่อสร้าง

2. ขอบเขตการศึกษา

2.1 ศึกษาสะพานแบบคานยื่นสมดุลตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวง [5] ในกรณีที่มีสะพานที่มีช่วงหลัก (Main Span) จำนวน 1 ช่วงและมีความยาวช่วงหลัก 80 เมตร

2.2 วิเคราะห์ผลเมื่อการก่อสร้างเป็นไปตามแผนงานตามกำหนดดังนี้

- ระยะเวลาในการหล่อแต่ละชิ้นส่วน (T_s) เป็น 7 วัน
- ระยะเวลาในการย้ายชุดแบบหล่อที่เคลื่อนที่ได้ (T_M) เป็น 30 วัน

- น้ำหนักแบบหล่อที่เคลื่อนที่ได้ (CE) มีค่าเท่ากับ 450 kN

2.3 วิเคราะห์ผลเมื่อการก่อสร้างเบี่ยงเบนไปจากแผนงานกำหนดดังนี้

- T_s มีค่าเท่ากับ 10, 13 และ 16 วัน
- CE มีค่าเท่ากับ 1.15, 1.30 และ 1.50 เท่าของ 450 kN

2.4 ใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) โดยเฉลี่ยของประเทศไทย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 75%

2.5 วิเคราะห์ผลของการโก่งตัว และค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับคานสะพาน

2.6 ใช้มาตรฐานการออกแบบสะพาน AASHTO LRFD ฉบับปี 2012 [6]

2.7 สะพานมี 3 ช่องการจราจร มีความกว้าง 14.5 เมตร

2.8 กำหนดให้มีชุดของ From Traveler ที่ใช้ในระหว่างการก่อสร้างมีจำนวน 2 ชุด

2.9 ใช้โปรแกรม SAP2000 ในการคำนวณและวิเคราะห์ผลในระหว่างการก่อสร้าง โดยโครงสร้างสะพานมีพฤติกรรมเป็นเชิงเส้น (Linear Analysis)

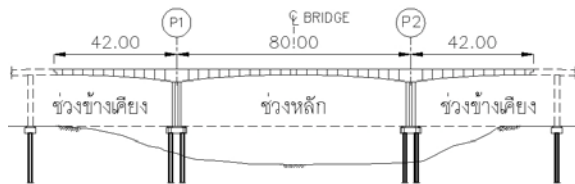
2.10 ไม่พิจารณาผลของแรงแผ่นดินไหว (Earthquake)

3. รายละเอียดการศึกษา

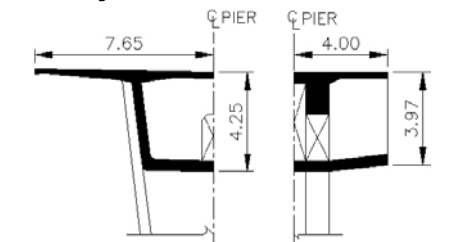
ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ การพิจารณาลักษณะของสะพาน แรงที่กระทำต่อคานสะพานในระหว่างทำการก่อสร้าง (Construction Loads) และแผนงานการก่อสร้างคานสะพาน

3.1 ลักษณะของสะพาน

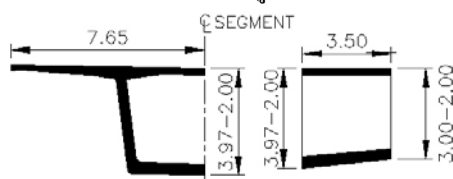
มีความยาวช่วงหลัก (Main Span) คือ 80 เมตร และช่วงข้างเคียง (Side Span) เป็น 42 เมตร ดังรูปที่ 1 และหน้าตัดของคานสะพานมีลักษณะ ดังรูปที่ 2 โดยการอัดแรงเป็นระบบอัดแรงภายใน (Internal Post-Tensioned) ดังรูปที่ 3



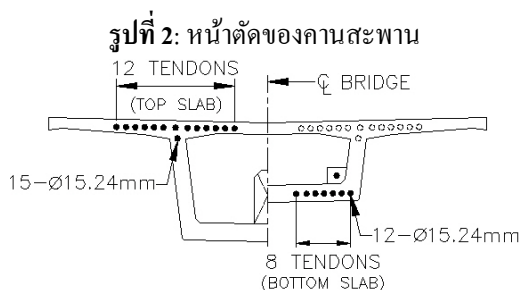
รูปที่ 1: ลักษณะของสะพาน



(ก): ชิ้นส่วนที่อยู่บนหัวเสา



(ข): ชิ้นส่วนอื่นๆ



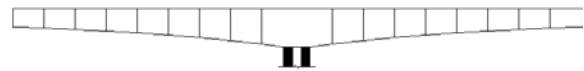
รูปที่ 3: ระบบลวดอัดแรงภายใน

โดยลวดอัดแรงด้านบนทำหน้าที่รับโมเมนต์ดัด ถูกดึงด้วยแรง 3900 kN/กลุ่มลวด และลวดอัดแรงด้านล่างทำหน้าที่รับโมเมนต์ดัด ถูกดึงด้วยแรง 3120 kN/กลุ่มลวด

สะพานใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัด (f_c') เท่ากับ 50 MPa และลวดอัดแรงเป็นลวดตีเกลียวอัดแรงชนิดคลายตัวต่ำ ชั้นคุณภาพ 1860

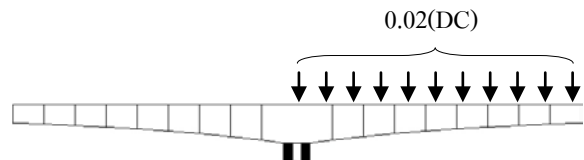
3.2 แรงที่กระทำต่อคานสะพานในระหว่างทำการก่อสร้าง

ก. น้ำหนักของโครงสร้างที่สร้างเสร็จแล้ว (DC) ใช้รองรับน้ำหนักส่วนที่กำลังก่อสร้าง ดังรูปที่ 4



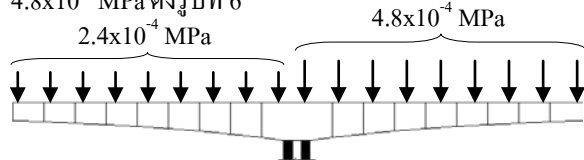
รูปที่ 4: น้ำหนักของโครงสร้างที่สร้างเสร็จแล้ว

ข. น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่แตกต่างกัน (DIFF) คิดเป็นร้อยละ 2 ของน้ำหนักบรรทุกคงที่ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5: น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่แตกต่างกัน

ค. น้ำหนักบรรทุกจรจากการก่อสร้าง (CLL) เป็นน้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอมีค่าเท่ากับ 2.4×10^{-4} MPa หรือ 4.8×10^{-4} MPa ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6: น้ำหนักบรรทุกจรกระจายสม่ำเสมอ

ง. น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ก่อสร้าง (CE) มีค่าเท่ากับ 450 kN ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7: น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ก่อสร้าง

จ. แรงกระแทกเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ก่อสร้าง (IE) คิดเป็นร้อยละ 10 ของน้ำหนัก CE ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8: แรงกระแทกเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ก่อสร้าง

ฉ. น้ำหนักบรรทุกตายตัวจากการหล่อคานไม่สมดุล (U) เนื่องมาจากการหล่อคานสะพานไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 9



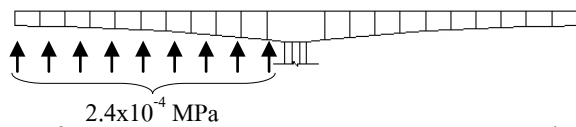
รูปที่ 9: น้ำหนักจากการหล่อคานสะพานไม่สมดุล

ช. แรงลมที่กระทำต่อเครื่องมือที่ใช้ก่อสร้าง (WE) มีค่าเท่ากับ 4.8×10^{-3} MPa ดังรูปที่ 10



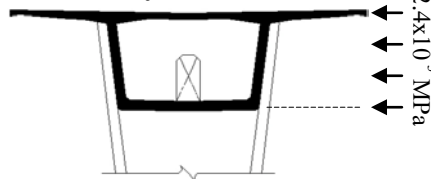
รูปที่ 10: แรงลมที่กระทำต่อเครื่องมือที่ใช้ก่อสร้าง

ข. แรงลมที่กระทำให้โครงสร้างคานสะพานยกขึ้น (WUP) มีค่าเท่ากับ 2.4×10^{-4} MPa ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11: แรงลมที่กระทำให้โครงสร้างคานสะพานยกขึ้น

ณ. แรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างคานสะพาน (WE) มีค่าเท่ากับ 2.4×10^{-3} MPa ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12: แรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างคานสะพาน

ญ. ผลกระทบอื่นๆ ดังนี้ ผลจากอุณหภูมิ (TU) การคืบ (CR) และการหดตัว (SH) ของคอนกรีต โดยพิจารณาตามมาตรฐานข้อกำหนด ASSTHO [6]

3.2.1 การรวมแรงเพื่อตรวจสอบโครงสร้าง

ผลรวมของแรงในสภาวะใช้งาน (Service, S) ดังนี้

$$S = 1.0(\text{DC}) + 1.0(\text{DIFF}) + 1.0(\text{CLL}) + 1.0(\text{CE}) + 1.0(\text{IE}) + 1.0(\text{CR}) + 1.0(\text{SH}) + 1.0(\text{TU}) \dots (1)$$

$$S = 1.0(\text{DC}) + 1.0(\text{U}) + 1.0(\text{CLL}) + 1.0(\text{CLL}) + 1.0(\text{IE}) + 1.0(\text{CR}) + 1.0(\text{SH}) + 1.0(\text{TU}) \dots (2)$$

$$S = 1.0(\text{DC}) + 1.0(\text{DIFF}) + 0.7(\text{WS}) + 0.7(\text{WUP}) + 1.0(\text{CR}) + 1.0(\text{SH}) + 1.0(\text{TU}) \dots (3)$$

$$S = 1.0(\text{DC}) + 1.0(\text{DIFF}) + 1.0(\text{CLL}) + 1.0(\text{CE}) + 1.0(\text{WUP}) + 0.7(\text{WS}) + 0.7(\text{WE}) + 1.0(\text{CR}) + 1.0(\text{SH}) + 1.0(\text{TU}) \dots (4)$$

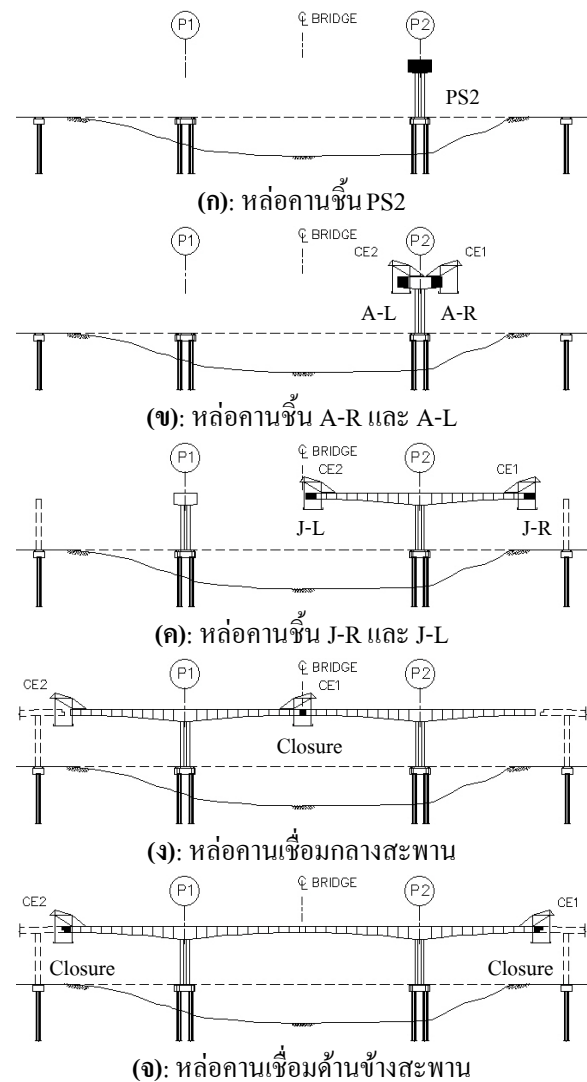
$$S = 1.0(\text{DC}) + 1.0(\text{U}) + 1.0(\text{CLL}) + 1.0(\text{CE}) + 1.0(\text{IE}) + 0.3(\text{WS}) + 0.3(\text{WE}) + 1.0(\text{CR}) + 1.0(\text{SH}) + 1.0(\text{TU}) \dots (5)$$

$$S = 1.0(\text{DC}) + 1.0(\text{CLL}) + 1.0(\text{CE}) + 1.0(\text{IE}) + 0.3(\text{WS}) + 0.3(\text{WE}) + 1.0(\text{CR}) + 0.3(\text{SH}) + 0.3(\text{TU}) \dots (6)$$

3.3 วิธีการก่อสร้างคานสะพาน

แยกการก่อสร้างคานสะพานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ยื่นออกจากเสาด้านที่ 1 (P1) และส่วนที่ยื่นออกจากเสาด้าน

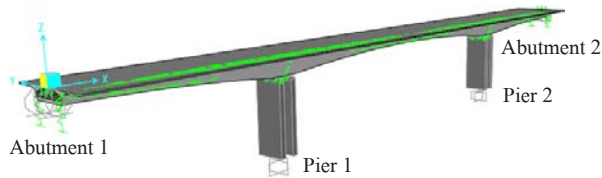
ที่ 2 (P2) พิจารณาขั้นตอนการก่อสร้างดังรูปที่ 13 โดยหล่อคานสะพานชั้นแรก (PS2) บนหัวเสา P2 ดังรูป (ก) ติดตั้งไม้แบบ CE1 หล่อคานสะพานด้านขวา (ชั้น A-R) เลื่อน CE1 ไปด้านขวา ติดตั้ง CE2 หล่อคานสะพานด้านซ้าย (ชั้น A-L) ทำการดึงลวดอัดแรงด้านบน ดังรูป (ข) เลื่อน CE1 และ CE2 แล้วหล่อคานสะพานทั้งสองด้านพร้อมกัน (ชั้น J-R และ J-L) ดึงลวดอัดแรงด้านบน ดังรูป (ค) จากนั้นเปลี่ยนการก่อสร้างไปที่เสาช่วง P1 โดยทำการก่อสร้างคานสะพานเหมือนกับเสาช่วง P2 จากนั้นทำการหล่อคานเชื่อมบริเวณกลางและด้านข้าง (Closure) ของสะพาน ดึงลวดอัดแรงด้านล่าง ดังรูป (ง) และรูป (จ) ตามลำดับ



รูปที่ 13: ขั้นตอนการก่อสร้างคานสะพาน

4. แบบจำลองโครงสร้างสะพาน

เนื่องจากจำนวนที่ทำการศึกษามีทั้งหมด 16 กรณี ดังตารางที่ 1 โดยใช้โปรแกรม SAP2000 เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างสะพาน ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14: แบบจำลอง 3 มิติโดยโปรแกรม SAP2000

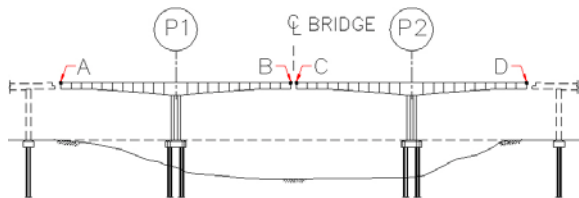
ตารางที่ 1 กรณีที่ทำการศึกษา

กรณี	ค่า CE (kN)	ค่า T _S (วัน)
ก) ตามแผนงาน	450.0	7
ข) มีการปรับ แผนงาน	450.0	10, 13, 16
	517.5	7, 10, 13, 16
	585.0	7, 10, 13, 16
	675.0	7, 10, 13, 16

5. ผลการศึกษา

5.1 ค่าการโก่งตัว

พิจารณาบริเวณปลายของคานสะพานก่อนจะทำการหล่อเชื่อมสะพานเข้าด้วยกัน (ยื่นยาวที่สุด) แบ่งการตรวจสอบเป็น 4 จุด คือ ที่จุด A, B, C และ D ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15: จุดที่พิจารณาการโก่งตัว

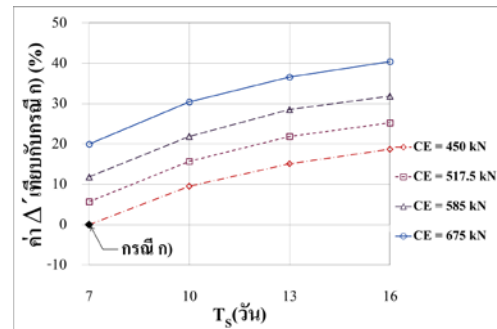
จากการวิเคราะห์ในกรณี ก) สามารถสรุปค่าการโก่งตัวที่เกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการโก่งตัวในกรณี ก) มีหน่วยเป็นเมตร (m)

ที่จุด A	ที่จุด B	ที่จุด C	ที่จุด D
-0.047	-0.050	-0.071	-0.007

เนื่องจากการโก่งตัวที่จุด B และจุด C มีผลกระทบต่อ การหล่อเชื่อมคานสะพานช่วง P1 เข้ากับ P2 ดังนั้นจึงทำ การพิจารณาค่าการโก่งตัวที่ต่างกันของสองจุด (Δ') พบว่าค่า Δ' มีค่าเท่ากับ 0.021 เมตร

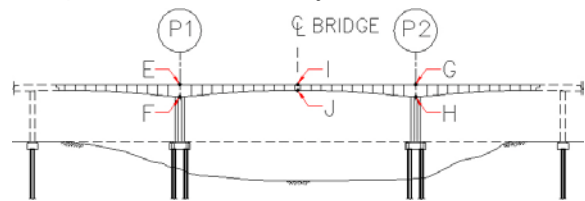
ได้เปรียบเทียบค่า Δ' ของกรณี ข) เทียบกับค่าในกรณี ก) เป็น % และแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 16 ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อ ค่า CE หรือ T_S เพิ่มขึ้นค่า Δ' จะเพิ่มขึ้น โดยคลาดเคลื่อน ไปจากที่เคยวิเคราะห์ไว้ถึง 40.5% ในกรณีที่ CE = 675 kN และ T_S = 16 วัน



รูปที่ 16: เปรียบเทียบค่า Δ' เมื่อมีการปรับแผนงาน

5.2 ค่าความเค้น

ได้พิจารณาค่าความเค้น (σ) หลังเชื่อมคานสะพานเข้าด้วยกันแล้ว 10000 วัน ซึ่งมีผลของการคืบและหดตัวของ คอนกรีต รวมไปถึงการสูญเสียแรงดึงของลวดอัดแรง โดย พิจารณาที่ผิวบนและล่างของชิ้นส่วนคาน บริเวณหัวเสา P1, P2 และกลางสะพาน แบ่งการตรวจสอบออกเป็น 6 จุด คือที่จุด E, F, G, H, I และ J ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17: จุดที่พิจารณาค่า σ

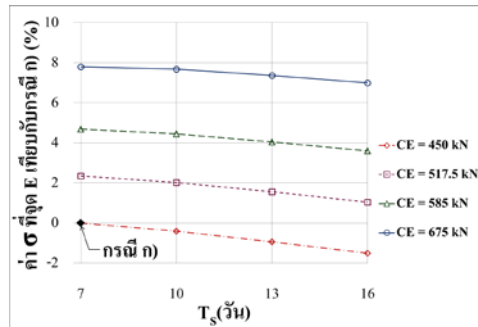
ผลจากการวิเคราะห์ในกรณี ก) สามารถสรุปค่า σ ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยที่ค่า σ มีค่าเป็นบวก (+) จะเป็น หน่วยแรงดึง และมีค่าเป็นลบ (-) จะเป็นหน่วยแรงอัด

ตารางที่ 3 ค่า σ ในกรณี ก) หลังเชื่อมต่อแล้ว 10000 วัน มีหน่วยเป็นเมกะปาสกาล (MPa)

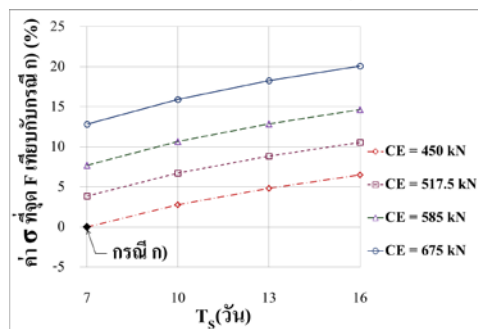
ที่จุด E	ที่จุด F	ที่จุด G	ที่จุด H	ที่จุด I	ที่จุด J
7.72	-28.67	7.83	-28.97	-11.48	6.48

ได้เปรียบเทียบค่า σ ของกรณี ข) เทียบกับค่าในกรณี ก) เป็น % และแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 17 ซึ่งค่า σ ที่จุด E กับ G และ F กับ H มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกแสดงผล 4 จุดคือที่จุด E, F, I และ J

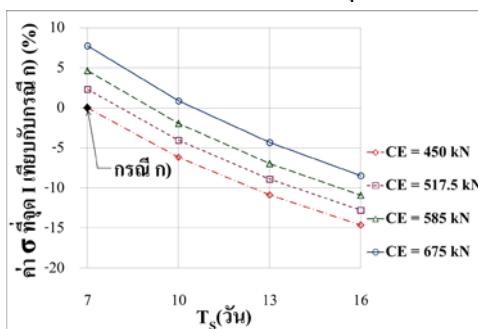
เมื่อค่า CE เพิ่มขึ้น ค่า σ จะเพิ่มขึ้นในทุกกรณี แต่เมื่อค่า T_s เพิ่มขึ้น ค่า σ ที่จุด E, I และ J จะลดลง แต่ค่า σ ที่จุด F จะเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนไปจากที่เคววิเคราะห์ไว้จะเห็นว่าค่ามากที่สุดเป็น 20.1% โดยเป็นค่า σ ที่จุด F ในกรณีที่ CE = 675 kN และ $T_s = 16$ วัน



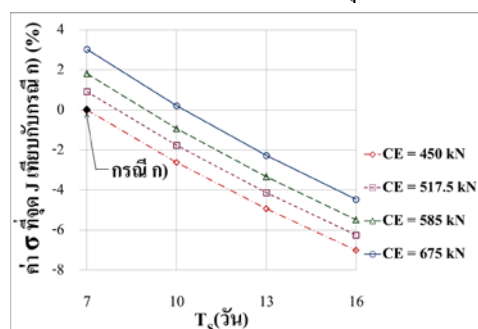
(ก): เปรียบเทียบค่า σ ที่จุด E



(ข): เปรียบเทียบค่า σ ที่จุด F



(ค): เปรียบเทียบค่า σ ที่จุด I



(ง): เปรียบเทียบค่า σ ที่จุด J

รูปที่ 17: เปรียบเทียบค่า σ ที่เกิดขึ้นหลังเชื่อมคานสะพานแล้ว 10000 วัน เมื่อมีการปรับแผนงาน

6. สรุปผลการศึกษา

การปรับแผนงานก่อสร้างทำให้พฤติกรรมของสะพานคานยื่นสมดุลเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่เคววิเคราะห์ไว้เมื่อออกแบบสะพาน เนื่องจากความเค้น และผลจากการคืบการหดตัว และการคลายตัวของลวดอัดแรงเปลี่ยนไป

ได้ศึกษาผลกระทบเมื่อต้องใช้เวลาในการหล่อแต่ละชั้นส่วน (T_s) มากขึ้น หรือต้องใช้แบบหล่อที่เคลื่อนที่ได้ ซึ่งมีน้ำหนัก (CE) มากกว่าที่กำหนดไว้ โดยการโก่งตัวที่ต่างกันของปลายยื่นของคานทั้งสองข้างที่บริเวณกลางสะพานก่อนทำการเชื่อมต่อกันมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อ T_s หรือ CE เพิ่มขึ้น โดยคลาดเคลื่อนไปได้มากที่สุด 40.5% และค่าความเค้นหลังจากเชื่อมคานสะพานแล้ว 10000 วัน โดยทั่วไปมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า CE เพิ่มขึ้น หรือ T_s ลดลง โดยคลาดเคลื่อนไปได้มากที่สุด 20.1%

หากต้องการจำกัดความคลาดเคลื่อนไม่ให้เกิน 10% จะต้องไม่ให้ค่า CE เกินกว่า 15% ของค่าที่ใช้ออกแบบ และไม่ให้ค่า T_s คลาดเคลื่อนเกิน 3 วัน หากเกินกว่าค่าดังกล่าวควรมีการวิเคราะห์โครงสร้างอีกครั้งหนึ่งโดยใช้ข้อมูลตามแผนงานที่ปรับเปลี่ยนไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Bishara and N. Papakonstantinou, "Analysis of Cast-In-Place Concrete Segmental Cantilever Bridges," American Society of Civil Engineers, vol. 11, pp. 1247–1268, 1990.
- [2] H. Chiu, J. Chern and K. Chang, "Long-Term Deflection Control in Cantilever Prestressed Concrete Bridges," American Society of Civil Engineers, vol. 122, pp. 489–494, 1996.
- [3] P. Mondorf, J. Kuprenas and E. Kordahi, "Segmental Cantilever Bridge Construction Case Study," American Society of Civil Engineers, vol. 123, pp. 78–84, 1997.
- [4] C. Lglesias, "Long-Term Behavior of Precast Segment Cantilever Bridges," American Society of Civil Engineers, vol. 3, pp. 340–349, 2006.

- [5] Department of Highways, Kingdom of Thailand,
“Standard Drawings for Long Span Bridge,” June,
2006.
- [6] AASTHO, LRFD Bridge Design Specifications, 6th
ed., American Association of State Highway and
Transportation Officials, Washington, DC, 2012.