



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมโยธา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

การวิเคราะห์ระยะ โคงงของสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วง
ที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงตามความยาว

Analysis of Deflection A Three Span Continuous Prestressed Concrete Bridge
With Variable Cross Section

นามผู้วิจัย

นายคุณตะวัน วิไลวงษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์สมโพธิ วิวิธเกตุรวงศ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์สุวิมล สัจจาณิษฐ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ก่อโชค จันทรวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์ระยะโค้งของสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วง
ที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงตามความยาว

Analysis of Deflection A Three Span Continuous Prestressed Concrete Bridge
With Variable Cross Section

โดย

นายดุจตะวัน วิไลวงษ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คุณตะวัน วิไลวงษ์ 2554: การวิเคราะห์ระยะโค้งของสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงตามความยาว ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์สมโพธิ วิวิธเกตุวงศ์, Ph.D. 164 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ระยะโค้งของสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงตามความยาวในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง ได้แก่ ขั้นตอนแรกสะพานมีลักษณะเป็นคานปลายยื่นสมดุลสองข้างของตอม่อกลางสะพาน ขั้นตอนต่อมาเมื่อปลายข้างหนึ่งของสะพานวางอยู่บนตอม่อปลายสะพานจะมีลักษณะเป็นคานช่วงเดียวปลายยื่น และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเชื่อมช่องว่างระหว่างคานช่วงเดียวปลายยื่นทั้งสองข้างตรงกึ่งกลางสะพานและมีลักษณะเป็นคานต่อเนื่องสามช่วงบนตอม่อทั้งคู่ การวิเคราะห์ระยะโค้งในขณะที่เป็นคานปลายยื่นและคานช่วงเดียวปลายยื่นซึ่งเป็นโครงสร้างดีเทอร์มิเนต และในขณะที่เป็นคานต่อเนื่องสามช่วงซึ่งเป็นโครงสร้างอินดีเทอร์มิเนต ทั้งสามขั้นตอนใช้วิธีสตีเฟนส์โดยตรง โดยพิจารณาระยะโค้งที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร น้ำหนักคงที่ส่วนเพิ่ม การคืบของคอนกรีต การหดตัวของคอนกรีต แรงดึงและการสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงเนื่องจากความฝืด การเคลื่อนตัวของสมอยึดและการคลายหน่วยแรงดึง ผลของการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในครั้งนี้ แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการโค้งตัวของสะพานคอนกรีตอัดแรงในทุกขั้นตอน โดยที่ระยะโค้งของสะพานคอนกรีตอัดแรงในขั้นตอนการก่อสร้างสามารถนำมาปรับรูปแบบของสะพานคอนกรีตอัดแรงให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างเมื่อแล้วเสร็จ ส่วนระยะโค้งของสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงใช้สำหรับตรวจสอบสภาพการทำงานของสะพาน

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Duttawan Wilaiwong 2011: Analysis of Deflection of A Three Span Continuous Prestressed Concrete Bridge With Variable Cross Section. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Somphothi Vivithkeyoonvong, Ph.D. 164 pages.

This research is to develop a computer program to analyze deflections of a three span continuous prestressed concrete bridge with variable cross section according to stages of construction. At the first stage, the bridge characteristic is a balanced cantilever beam. The next stage when one end of the beam rested on abutment and the bridge behaves as an overhanging beam. The last stage when closing the gap between the two overhanging beams at the center of middle span and the bridge behaves as a three span continuous beam. The bridges at the balance cantilever beam and overhanging beam stages are the determinate structures. While the bridge at the continuous beam stage is an indeterminate structure. Deflections of the bridge in each stage analyzed by using the direct stiffness method. These deflections are caused by dead load, live load, superimposed dead load, creep and shrinkage of concrete, prestressed force and losses of prestressed forces due to friction, anchorage take-up, and relaxation. The results of this computer program will show deflection behaviors of prestressed concrete bridge at every stage. The deflections at stage of construction will be used to adjust the bridge configuration during construction period. While the deflection of three span continuous bridge will be used to check workability of the bridge.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ รศ.ดร.สมโพธิ วิวิธเกยูรวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ที่สละเวลาอันมีค่ายิ่ง คอยควบคุมดูแลการทำวิทยานิพนธ์ ให้ความรู้ คำแนะนำ และ
ข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดมา รวมทั้งตรวจแก้ไข
ข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ รศ.ดร.สุวิมล
สัจจวานิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.วันชัย ยอดสุดใจ ประธานการสอบปากเปล่าชั้น
สุดท้าย และอาจารย์ รศ.ดร.ชวเลข วณิชเวทิน ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ท่านได้ให้คำปรึกษาและแนะนำ
อันเป็นประโยชน์แก่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสมศักดิ์ วิไลวงษ์ และคุณแม่อมรรัตน์ นาคผจญ ซึ่งเป็น
บุคคลที่สำคัญยิ่งในชีวิตของผู้เขียน ท่านทั้งสองเปรียบเสมือนแสงไฟที่ส่องนำทางให้ผู้เขียนก้าวเดิน
ไปสู่ความสำเร็จ และขอขอบพระคุณญาติพี่น้องทุกคน และขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้ความ
ช่วยเหลือ ใถ่ถามทุกข์สุขและให้กำลังใจมาโดยตลอด จนทำให้การดำเนินการวิจัยผ่านลุล่วงไปได้
ด้วยดี

ท้ายที่สุดขอขอบคุณอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอขอบความดีทั้งปวงแต่
คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง ผู้มีพระคุณและคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ส่วนความ
ผิดพลาดและข้อบกพร่องอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้เขียนขอน้อมรับแต่เพียงผู้เดียว

คุณตะวัน วิไลวงษ์
กุมภาพันธ์ 2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	10
อุปกรณ์	10
วิธีการ	10
ผลและวิจารณ์	44
ผล	44
วิจารณ์	112
สรุป	113
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	114
ภาคผนวก	116
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	164

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าสัมประสิทธิ์ความผิดสำหรับลวดอัดแรง	15
2	ค่าตัวคูณของการคืบเนื่องจากผลของขนาดและรูปร่างของคาน	19
3	ค่าของตัวคูณของการคืบเนื่องจากอายุของคอนกรีต ในขณะที่ถ่ายแรงและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต	20
4	สัดส่วนของการคืบที่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา	20
5	สัดส่วนของการหดตัวของคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา	22
6	ค่าตัวคูณของการหดตัวของคอนกรีตเนื่องจากขนาดและรูปร่างของคาน	22
7	การกำหนดขนาดของหน้าตัดคานสะพานคอนกรีตอัดแรง	51
ตารางผนวกที่		
1	การกำหนดขนาดของหน้าตัด	133

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงปลายยื่นสมคูลสองข้าง	11
2	การแปลงน้ำหนักแบบแผ่กระจายเป็นน้ำหนักแบบเป็นจุด	13
3	การสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรง	14
4	การสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงเนื่องจากการเข้าที่ของสมอยึด	16
5	โครงสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงช่วงเดียวปลายยื่น	23
6	โครงสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วง	24
7	น้ำหนักบรรทุกทุกที่ใช้ออกแบบสะพานตามข้อกำหนดของ AASHTO	25
8	น้ำหนักแผ่เทียบเท่าที่ใช้ออกแบบสะพานตามข้อกำหนด AASHTO	25
9	ผังงานลำดับขั้นตอนการหาระยะ โกงและมุมหมุนใน โปรแกรม PCBridgeIII Ver. 2.1	33
10	สะพานต่อเนื่องสามช่วงและจุดต่อของชิ้นส่วนย่อยในคานสะพาน แต่ละช่วงคาน	45
11	การกำหนดน้ำหนักบรรทุกทุกที่กระทำต่อสะพาน	46
12	การกำหนดลักษณะของสะพานตามยาว	48
13	การกำหนดรูปร่างของหน้าตัดคานสะพานคอนกรีตอัดแรง	50
14	ขนาดหน้าตัดหน้าตัดของสะพานคอนกรีตอัดแรง	51
15	การกำหนดข้อมูลทั่วไปสำหรับการออกแบบลวดอัดแรง	52
16	การกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรง	53
17	การกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีต	54
18	การกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของลวดอัดแรง	55
19	การกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน	57
20	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายโมเมนต์	58
21	ค่าพิทักของเส้นอิทธิพล	60
22	ค่าพิทักของเส้นอิทธิพลสำหรับ โมเมนต์คัตในขั้นตอนคานปลายยื่น สมคูลสองด้าน	61

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	ผลรวมของค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับ โมเมนต์คัตที่เป็นค่าบวกและค่าลบ ตลอดจนค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน	61
24	ค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับ โมเมนต์คัตสูงสุดและต่ำสุดที่ตำแหน่งจุดแบ่งต่างๆ ตามตำแหน่งของเพลารถบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน	62
25	ค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือน ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน	62
26	ผลรวมของค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือนที่เป็นค่าบวกและค่าลบ ตลอดจนค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน	63
27	ค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือนสูงสุดและต่ำสุดที่ตำแหน่งจุดแบ่งต่างๆ ตาม ตำแหน่งของเพลารถบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน	63
28	ค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับของคานต่อเนื่องสามช่วง	64
29	ค่าพิคคของ โมเมนต์คัตและแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO	66
30	โมเมนต์คัตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่เทียบเท่า (equivalent lane loading) ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมคูลด้าน	67
31	โมเมนต์คัตเนื่องจากน้ำหนักรถบรรทุก (truck loading) ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมคูลด้าน	68
32	แรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักรถบรรทุกทุกแผ่เทียบเท่า (equivalent lane loading) ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมคูลด้าน	69
33	แรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักรถบรรทุก (truck loading) ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมคูลด้าน	70

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
34	ผลรวมของโมเมนต์ตัดและแรงเฉือนสูงสุด เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่เทียบเท่าและน้ำหนักรถบรรทุก ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมดุสองด้าน	71
35	ผลการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรง	71
36	ความลึกของหน้าตัดคานสะพานคอนกรีตอัดแรงและความหนาของพื้นที่คาน	72
37	คุณสมบัติของหน้าตัดคานสะพานที่ตำแหน่งจุดแบ่งต่างๆ	74
38	หน่วยแรงในหน้าตัดในขั้นตอนคานปลายยื่นสมดุสองข้าง	76
39	หน่วยแรงในหน้าตัดในขั้นตอนคานช่วงเดียวปลายยื่นและคานต่อเนื่องสามช่วง	76
40	ค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับ โมเมนต์คคของคานต่อเนื่องสามช่วง	77
41	ค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือนของคานต่อเนื่องสามช่วง	79
42	เส้นอิทธิพลของโมเมนต์คคและแรงเฉือน	81
43	เส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ	82
44	ผลรวมของโมเมนต์คคและแรงเฉือนสูงสุด เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่เทียบเท่าและน้ำหนักรถบรรทุกของคานต่อเนื่องสามช่วง	83
45	โมเมนต์คคและแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกตามมาตรฐาน AASHTO	85
46	ผลการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรง	86
47	หน้าตัดสะพาน	87
48	แรงคิ่งเริ่มต้นและแรงคิ่งประสิทธิผลในลวดคคแรงในขั้นตอนคานปลายยื่นสมดุสองด้าน	88
49	แรงคิ่งเริ่มต้นและแรงคิ่งประสิทธิผลในลวดคคแรงในขั้นตอนคานช่วงเดียวปลายยื่นและคานต่อเนื่องสามช่วง	89
50	ผลการวิเคราะห์ระยะ โกงและมูมมูม	90
51	ผลการวิเคราะห์ระยะ โกงของคานปลายยื่นสมดุสองด้าน	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
52	ระยะ โกงและมูมหมุนเนื่องจากน้ำหนักของตัวสะพานและอุปกรณ์ยึดติดกับตัวสะพาน (Dead Load and Superimposed Dead Load) ของคานปลายยื่นสมคูลสองข้าง	92
53	ระยะ โกงและมูมหมุนเนื่องจากน้ำหนักของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่เคลื่อนที่บน โครงสร้างสะพานและน้ำหนักจากกองวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบนสะพาน (Live Load) ของคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน	93
54	ระยะ โกงและมูมหมุนเนื่องจากแรงดึงในลวดอัดแรง (Prestress Force) ของคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน	94
55	ระยะ โกงและมูมหมุนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกทั้งหมัด (Total Deflection) ของคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน	95
56	เมนูย่อของ Graphic Deflection ในส่วนของ Cantilever Beam Stage	96
57	ระยะ โกงในแนวราบที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน	97
58	ระยะ โกงในแนวตั้งที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน	98
59	มูมหมุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน	98
60	ผลการวิเคราะห์ระยะ โกงของคานช่วงเดี่ยวปลายยื่น	99
61	ระยะ โกงและมูมหมุนเนื่องจากน้ำหนักของตัวสะพานและอุปกรณ์ยึดติดกับตัวสะพาน (Dead Load and Superimposed Dead Load) ของคานช่วงเดี่ยวปลายยื่น	101
62	ระยะ โกงและมูมหมุนเนื่องจากน้ำหนักของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่เคลื่อนที่บน โครงสร้างสะพานและน้ำหนักจากกองวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบนสะพาน (Live Load) ของคานช่วงเดี่ยวปลายยื่น	102
63	ระยะ โกงและมูมหมุนเนื่องจากแรงดึงในลวดอัดแรง (Prestress Force) ของคานช่วงเดี่ยวปลายยื่น	103
64	ระยะ โกงและมูมหมุนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกทั้งหมัด (Total Deflection) ของคานช่วงเดี่ยวปลายยื่น	104

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
65	เมนูย่อยของ Graphic Deflection ในส่วนของ Overhanging Beam Stage	105
66	ระยะ โกงในแนวราบที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานช่วงเดี่ยวยาวปลายยื่น	106
67	ระยะ โกงในแนวตั้งที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานช่วงเดี่ยวยาวปลายยื่น	107
68	มุมหมุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานช่วงเดี่ยวยาวปลายยื่น	107
69	ผลการวิเคราะห์ระยะ โกงของคานต่อเนื่องสามช่วง	108
70	ระยะ โกงและมุมหมุนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกแบบแต่เทียบเท่า (Equivalent Lane Load) ของคานต่อเนื่องสามช่วง	110
71	ระยะ โกงและมุมหมุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของคานต่อเนื่องสามช่วง	111
ภาพผนวกที่		
1	ส่วนประกอบหลักของโปรแกรม	120
2	คำสั่งย่อยสำหรับจัดการเพิ่มข้อมูล	121
3	คำสั่งย่อยสำหรับการป้อนข้อมูล	122
4	คำสั่งย่อยสำหรับแสดงผลการวิเคราะห์	123
5	คำสั่งย่อยสำหรับแสดงผลของการออกแบบหน้าตัดสะพานคอนกรีตอัดแรง	124
6	คำสั่งย่อยสำหรับแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟฟิก	125
7	คำสั่งย่อยสำหรับแสดงผลการวิเคราะห์ระยะ โกงในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง	125
8	คำสั่งย่อยสำหรับแสดงผลการวิเคราะห์ระยะ โกงในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง	126
9	ข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม	126
10	การกำหนดชื่อโครงการและผู้ทำการวิเคราะห์และออกแบบ	127

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
11	การกำหนดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพาน	128
12	การกำหนดลักษณะของสะพานตามยาว	130
13	การกำหนดลักษณะของหน้าตัดคานสะพานคอนกรีตอัดแรง	132
14	การกำหนดหมายเลขจุดแบ่งบนหน้าตัดคานสะพานคอนกรีตอัดแรง	132
15	การกำหนดข้อมูลทั่วไปสำหรับการออกแบบลวดอัดแรง	134
16	การกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรง	136
17	การกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีต	137
18	การกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของลวดอัดแรง	138
19	การกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน	140
20	แสดงลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบ	142
21	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายโมเมนต์	145
22	ค่าพิคคของเส้นอิทธิพล	147
23	ค่าพิคคของโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก	148
37	ระยะ โกงในแนวราบที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานช่วงเดี่ยวยปลายขึ้น	162
38	ระยะ โกงในแนวตั้งที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานช่วงเดี่ยวยปลายขึ้น	162
39	มุมหมุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานช่วงเดี่ยวยปลายขึ้น	163
40	ระยะ โกงในแนวตั้งที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของคาน ต่อเนื่องสามช่วง	163

การวิเคราะห์ระยะโค้งของสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วง ที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงตามความยาว

Analysis of Deflection of A Three Span Continuous Prestressed Concrete Bridge With Variable Cross Section

คำนำ

การก่อสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงนิยมใช้วิธีคานปลายยื่นสมดุลสองข้าง (Balance Cantilever Construction) เนื่องจาก สามารถก่อสร้างออกไปทั้งสองข้างของตอม่อกลาง สะพานอย่างอิสระ การควบคุมงานทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ การเทคอนกรีตสามารถเทได้ บางส่วนหรือทั้งหมดของหน้าตัดทั้งยังสามารถปรับปรุงแก้ไขและสร้างความชำนาญในการ ก่อสร้างได้เนื่องจากการก่อสร้างแบบเข้าไปเข้ามาทำให้มีอัตราการงานที่เร็วขึ้น ประการ สำคัญ คือ เป็นการก่อสร้างที่ไม่กีดขวางการจราจรทั้งทางน้ำและทางบก

การก่อสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสาม แบ่งออกเป็นสามขั้นตอน ได้แก่ คาน ปลายยื่นสมดุลสองข้าง คานช่วงเดียวปลายยื่น และคานต่อเนื่องสามช่วง ในแต่ละขั้นตอนการ ก่อสร้างสะพานจะมีระยะ โค้งและหน่วยแรงภายในแตกต่างกันไปตามลักษณะและพฤติกรรมของ สะพาน ขั้นตอนแรก สะพานมีลักษณะเป็นคานปลายยื่นสมดุลสองข้างบนตอม่อกลางสะพานจะ วางแบบก่อสร้างให้คานโค้งขึ้นก่อน (precamber) เท่ากับระยะ โค้งลงที่คำนวณได้จากน้ำหนัก บรรทุกในการก่อสร้างดังกล่าวนี้ เมื่อหล่อคานแล้วเสร็จคานรับน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวจะทำให้ คานอยู่ในระดับที่ต้องการ น้ำหนักบรรทุกที่ทำให้คานโค้งลง ได้แก่ น้ำหนักของตัวสะพานเอง น้ำหนักของวัสดุผิวจราจร ขอบทางเท้า ราวสะพาน น้ำหนักของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ส่วน แรงดึงในลวดอัดแรง จะทำให้คานโค้งขึ้น ขั้นตอนที่สอง สะพานมีลักษณะเป็นคานช่วงเดียวปลาย ยื่นบนตอม่อกลางสะพานและตอม่อปลายสะพาน ต้องคำนวณระยะ โค้งลงของปลายสะพานที่ยื่น ออกไป เพื่อเปรียบเทียบกับระยะ โค้งลงของปลายสะพานในขั้นตอนแรก เพื่อวางแบบก่อสร้างคาน ให้เหมาะสมถูกต้อง และขั้นตอนที่สามสะพานมีลักษณะเป็นคานต่อเนื่องสามช่วงบนตอม่อ ปลาย

สะพานและตอม่อกลางสะพาน เป็นการวิเคราะห์ระยะโค้งของสะพานเมื่อแล้วเสร็จ ใช้สำหรับ
ตรวจสอบการทำงานของสะพาน (workability) เมื่อรับน้ำหนักบรรทุก



วัตถุประสงค์

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์หาระยะโค้งที่ตำแหน่งต่างๆ ของสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงตามความยาว โดยแบ่งการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นตอนการก่อสร้างดังนี้ คือ คานปลายยื่นสมดุลสองข้างของตอม่อกลางสะพาน (Balanced Cantilever Beam) คานช่วงเดียวปลายยื่น (Overhanging Beam) และคานต่อเนื่องสามช่วง (Three Span Continuous Beam)

ขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ระยะโค้งตามขั้นตอนการก่อสร้างเพื่อเชื่อมต่อกับโปรแกรม PCBridgeIII ของสราวุธ (2543) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์และออกแบบหน่วยแรงภายในตลอดจนพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนสะพานและจำนวนลวดอัดแรงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ในข้อที่สอง

2. วิเคราะห์ระยะโค้งของสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) น้ำหนักบรรทุกคงที่ส่วนเพิ่ม (Superimposed Dead Load) แรงดึงในลวดอัดแรง (Prestress Force) และการสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรง (Prestressed Losses) เนื่องจากการหดตัวในช่วงอีลาสติก (Elastic Shortening) การคืบ (Creep) และการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีต (Shrinkage) ความเสียด (Friction) การเคลื่อนตัวของสมอยึด (Anchorage Set) และการคลายหน่วยแรงดึงของลวดอัดแรง (Stress Relaxation) ในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง คือ คานปลายยื่นสมดุลสองข้างบนตอม่อกลางสะพาน คานช่วงเดียวปลายยื่นบนตอม่อกลางสะพานและตอม่อปลายสะพาน และคานต่อเนื่องสามช่วงบนตอม่อทั้งสิ้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้เข้าใจถึงขั้นตอนในการก่อสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงตามความยาว
2. ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการโก่งตัวของสะพานคอนกรีตอัดแรงในขณะก่อสร้างและในขณะใช้งาน
3. ทำให้สามารถนำระยะโก่งของสะพานคอนกรีตอัดแรงในขั้นตอนการก่อสร้างที่วิเคราะห์ได้มาปรับรูปแบบสะพานให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างและในขั้นตอนการใช้งานเพื่อให้การใช้งานของสะพานเป็นไปด้วยดี (Workability) โดยมีระยะโก่งในขอบเขตที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของสะพาน (Specification)

การตรวจเอกสาร

Branson and Ozell (1961) ได้ทำการทดลองหาระยะ โกงที่เกิดขึ้นตามเวลาของคานคอนกรีตอัดแรงชนิดดิ่งที่หลังที่เป็นคานประกอบและที่ไม่เป็นคานประกอบ โดยทดสอบ คานคอนกรีตอัดแรงชนิดดิ่งที่หลังที่เป็นคานประกอบ จำนวน 5 ตัวอย่าง และ คานคอนกรีตอัดแรงชนิดดิ่งที่หลังที่ไม่เป็นคานประกอบ จำนวน 10 ตัวอย่าง โดยอัดแรงที่ระดับต่างๆตามกำลังของคอนกรีตที่ไม่มีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศเป็นเงื่อนไขในการทดสอบ พบว่าระยะ โกงจะเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 100 ถึง 200 วันจึงจะได้ค่าระยะ โกงสูงสุดที่เกิดจากการคืบและการหดตัวของคอนกรีต และวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ทำนายการ โกงตัวในคานคอนกรีตอัดแรงชนิดดิ่งที่หลังที่เป็นคานประกอบและที่ไม่เป็นคานประกอบเป็นที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ

Raouf and Furr (1972) ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำนายการสูญเสียแรงดิ่งในลวดอัดแรงและการ โกงตัวขึ้นในคานคอนกรีตอัดแรงแบบดิ่งก่อน ภายใต้การรับน้ำหนักของตัวเองและน้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีตที่หล่อในที่ภายหลัง โดยโปรแกรมแบ่งออกเป็นสามขั้นตอนด้วยกัน คือ ขั้นตอนที่หนึ่งเป็นการทำนายหน่วยแรงในเหล็กและคอนกรีต และการสูญเสียแรงดิ่งในลวดอัดแรงเมื่อเทียบกับเวลา ขั้นตอนที่สอง เป็นการทำนายการ โกงตัวขึ้นเมื่อเทียบกับเวลา และขั้นตอนที่สาม เป็นการทำนายการสูญเสียแรงดิ่งในลวดอัดแรงและการ โกงตัวขึ้นสำหรับคานคอนกรีตอัดแรงแบบดิ่งก่อนกับแผ่นพื้นคอนกรีตที่หล่อในที่ ผลการทำนายโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการ วัดคานสะพานในสนาม

Pual *et al.* (1979) ได้เสนอสมการประเมินค่าการสูญเสียแรงดิ่งในลวดอัดแรงสำหรับคอนกรีตอัดแรงแบบดิ่งก่อนและคอนกรีตอัดแรงแบบดิ่งที่หลังกับลวดอัดแรงชนิดยัดหน่วงและชนิดไม่ยัดหน่วง ซึ่งเกิดจากการหดตัวในช่วงอีลาสติกของคอนกรีต การคืบของคอนกรีต การคลายหน่วยแรงดิ่งของเหล็กเสริมอัดแรง และการหดตัวของคอนกรีตจากการสูญเสีย น้ำ โดยทำการเปรียบเทียบตัวอย่างการคำนวณคานคอนกรีตอัดแรงจากสิ่งตีพิมพ์ พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกันดี

Sheng *et al.* (1996) ได้ทำการศึกษาการโก่งตัวในระยะยาวของสะพานคอนกรีตอัดแรง ปลายยื่น เนื่องจากการคืบและการหดตัวของคอนกรีตซึ่งทำให้การโก่งตัวในระยะยาวเพิ่มขึ้น จึงได้เสนอวิธีการควบคุมระยะโก่งตัวในระยะยาว โดยใช้วิธีการดึงลวดอัดแรง เพื่อปรับปรุงแรงดึงในลวดอัดแรงของสะพานตามระยะเวลา ผลลัพธ์จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงการควบคุมการโก่งตัวในสะพานคอนกรีตอัดแรง โดยวิธีการปรับเปลี่ยนแรงดึงในลวดอัดแรงให้เหมาะสมตามเวลา และตามการใช้งานของสะพาน วิธีการควบคุมการโก่งตัวที่เสนอนี้ยืนยันความถูกต้องจากประสบการณ์ที่ได้ทำการวิจัย

Michael *et al.* (2003) ได้ทำการตรวจสอบคานหลักของสะพานในมลรัฐแอละแบมาซึ่งเป็นคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปที่มีกำลังสูง เพื่อศึกษาถึงการโก่งขึ้นและการสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงที่มากเกินไปเนื่องจากการคืบและการหดตัวของคอนกรีต โดยวัดจากคานหลักจำนวน 31 ตัวอย่างเพื่อหาการโก่งตัวขึ้น ณ อายุของคอนกรีตเฉลี่ย 200 วัน และได้หล่อตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกโดยใช้วัสดุในการผลิตเช่นเดียวกับคานหลักที่ทำการตรวจสอบ นำตัวอย่างคอนกรีตไปทดสอบเพื่อหาค่าการคืบและการหดตัวของคอนกรีต ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบเงื่อนไขของเวลา (time-step analysis) เพื่อทำนายความเครียดของคานหลัก พบว่า ค่าที่วัดได้ในสนามให้ผลที่สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

Barr *et al.* (2008) ได้ทำการทดลองกับสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วง โดยมีคานหลักเป็นคอนกรีตกำลังสูงจำนวน 5 คานหลักและได้ทำการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดความเครียด (vibrating-wire strain gages) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตตลอดระยะเวลาสามปีนับตั้งแต่ทำการหล่อคอนกรีต ความเครียดของคอนกรีตสามารถวัดได้จากการเปลี่ยนตำแหน่ง ณ จุดศูนย์กลางของลวดอัดแรง ทำให้สามารถประเมินแรงดึงในลวดอัดแรงได้ การสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงทั้งหมดประมาณ 28% ของหน่วยแรงทั้งหมดในแม่แรง เนื่องจากคอนกรีตกำลังสูง (high strength concrete) มีหน่วยแรงสูงมากกว่าคอนกรีตแบบปกติ (normal strength concrete) ทำให้การสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงมีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้เมื่อเปรียบเทียบกับคานหลักที่ทำมาจากคอนกรีตแบบปกติ และยังได้ทำการศึกษาการสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงที่วัดได้เปรียบเทียบกับการคำนวณจากสูตรของ AASHTO LRFD และ NCHRP 18-07 พบว่า วิธีการคำนวณ โดย AASHTO LRFD เป็นการทำนายค่าการสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงที่มากกว่าค่าที่วัดได้ประมาณ 20% ส่วนวิธีการคำนวณโดย NCHRP เป็นการทำนายค่าการสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงที่ต่ำกว่าค่าที่วัดได้ประมาณ

16% แต่วิธีของ NCHRP เป็นวิธีที่ครอบคลุมมากกว่าและสามารถปรับแก้สมการให้สอดคล้องกับบริเวณที่ทำการก่อสร้างได้

เมิน (2529) ได้ทำการวิจัยโดยพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Bridge III เพื่อหาเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ แรงเฉือน และโมเมนต์คัตของสะพานต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงตามความยาวเป็นรูปพาราโบลา วางอยู่บนฐานรองรับที่ไม่ทรุดตัวและมีลักษณะสมมาตร ใช้วิธีการกระจายโมเมนต์และแก้ไขปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ โดยการประมาณค่าตัวประกอบนำข้าม (Carry Over Factor) ตัวประกอบแข็งเกร็ง (Stiffness Factor) และตัวประกอบโมเมนต์คัต (Moment Factor) มาก่อนและจากเส้นอิทธิพลที่ได้นำมาวิเคราะห์และออกแบบหน้าตัดของสะพานเสร็จแล้วตรวจสอบค่าตัวประกอบนำข้าม ตัวประกอบแข็งเกร็งและตัวประกอบโมเมนต์คัตจากหน้าตัดของสะพานที่ออกแบบไว้ ถ้าผลที่ได้ผิดไปจากค่าที่สมมติขึ้นเกิน 10% จะต้องทำซ้ำจนกว่าจะได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่สมมติ ซึ่งจะทำได้หน้าตัดคานที่ประหยัดขึ้นด้วย

นิรันดร์ (2535) ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ BridgeIII ต่อจาก เมิน (2529) โดยทำการวิจัยหาเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยา แรงเฉือนและโมเมนต์คัตของคานต่อเนื่องสามช่วง โดยที่ความยาวแต่ละช่วงคานไม่เท่ากัน มีลักษณะไม่สมมาตรและพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงตามความยาวเป็นรูปพาราโบลาวางอยู่บนฐานรองรับที่ไม่ทรุดตัว โดยสมมติค่าตัวประกอบนำข้าม (Carry Over Factor) ตัวประกอบความแข็งเกร็ง (Stiffness Factor) และตัวประกอบโมเมนต์คัต (Moment Factor) ของหน้าตัด เมื่อได้พิกัดของเส้นอิทธิพลแล้วจึงนำไปคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยา แรงเฉือนและโมเมนต์คัตสูงสุดที่หน้าตัดต่างๆ อันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความลึกของคานสะพานที่สอดคล้องกับสมการโค้งพาราโบลา (parabolic haunch) และน้ำหนักบรรทุกจร ตามข้อกำหนดของ AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) ผลที่คำนวณได้สามารถแสดงในรูปของตาราง และไดอะแกรมของแรงเฉือนสูงสุด และโมเมนต์คัตสูงสุด โดยนำไปออกแบบหน้าตัดสะพานขั้นสุดท้ายได้ จากนั้นตรวจสอบค่าตัวประกอบนำข้าม ตัวประกอบความแข็งเกร็งและตัวประกอบโมเมนต์คัตของหน้าตัดสะพานที่ออกแบบไว้กับค่าตัวประกอบที่สมมติไว้แต่แรก ซึ่งหากค่าตัวประกอบดังกล่าวผิดพลาดจากที่สมมติไว้เกิน $\pm 10\%$ จะต้องทำซ้ำใหม่จนเป็นที่ยอมรับได้

สรารูช (2543) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PC BridgeIII สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงตามความยาวเป็นรูปพาราโบลา โดยพิจารณาตามขั้นตอนของการก่อสร้าง กล่าวคือในขั้นตอนแรกของการก่อสร้างสะพานมีลักษณะเป็นคานปลายยื่นสมดุลสองด้านของตอม่อกลางสะพาน โดยวิเคราะห์และออกแบบลวดอัดแรงสำหรับโมเมนต์ลบที่ด้านบนของหน้าตัดสะพานและเมื่อปลายคานช่วงริมวางอยู่บนตอม่อ ปลายสะพานแล้วสะพานจะมีลักษณะเป็นคานช่วงเดียวปลายยื่นซึ่งต้องวิเคราะห์และออกแบบลวดอัดแรงสำหรับรับโมเมนต์บวกที่เกิดขึ้นในคานช่วงริมที่ด้านล่างของหน้าตัดสะพาน และในขั้นตอนสุดท้ายของการก่อสร้างเมื่อปลายคานของคานช่วงเดียวปลายยื่นทั้งสองข้างบรรจบกัน สะพานจะมีลักษณะเป็นคานต่อเนื่องสามช่วงซึ่งจะต้องวิเคราะห์และออกแบบลวดอัดแรงสำหรับรับโมเมนต์บวกที่เกิดขึ้นในคานช่วงกลางที่ด้านล่างของหน้าตัดสะพาน โดยที่ในขั้นตอนนี้ต้องนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ BridgeIII มาประยุกต์ใช้ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดสะพาน ในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้างและในขณะใช้งานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกต่างๆ เช่น น้ำหนักของตัวสะพานเอง น้ำหนักของวัสดุผิวจราจร ขอบทางเท้า ราวสะพาน น้ำหนักของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ฯลฯ และการอัดแรงตลอดจนการสูญเสียแรงอัดในคอนกรีต เนื่องจาก การคืบของคอนกรีต การหดตัวของคอนกรีต แรงดึงและการสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงเนื่องจากความฝืด การเคลื่อนตัวของสมอยึดและการคลายหน่วยแรงดึง ทำให้สามารถหาปริมาณลวดอัดแรงที่เหมาะสมและประหยัดของแต่ละหน้าตัดสะพาน

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาต่อจาก สรารูช (2543) เพื่อให้โปรแกรม PC BridgeIII มีความสมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น กล่าวคือ สรารูช (2543) ได้ทำการวิเคราะห์และออกแบบสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงตามความยาวเป็นรูปพาราโบลาโดยมีผลการวิเคราะห์ที่สามารถแสดง เส้นอิทธิพลของโมเมนต์คัดและแรงเฉือนที่หน้าตัดต่างๆของสะพาน เส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ไคอะแกรมของโมเมนต์คัดและแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO คุณสมบัติต่างๆ ของหน้าตัดคานสะพานรูปกล่องเดี่ยว ผลการออกแบบหน้าตัดสะพานคอนกรีตอัดแรงในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง และปริมาณลวดอัดแรงและเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

แต่โปรแกรม PC BridgeIII ยังขาดขั้นตอนการตรวจสอบระยะโค้งในระหว่างการศึกษาและวิเคราะห์ระยะโค้งของสะพานคอนกรีตอัด

แรงต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงและเพื่อความสมบูรณ์ของโปรแกรม จะทำการเชื่อมต่อโปรแกรมในส่วนการวิเคราะห์ระยะโค้งของสะพานคอนกรีตอัดแรงเข้ากับการวิเคราะห์และออกแบบสะพานคอนกรีตอัดแรงในโปรแกรม PC BridgeIII ของ สราวุธ (2543) ให้อยู่ในโปรแกรมเดียวกัน โดยทำการเปลี่ยนชื่อโปรแกรมใหม่เป็น PC BridgeIII Ver. 2.1 ต่อไป



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ Intel Pentium 233 MHz ขึ้นไป หน่วยความจำ 128 เมกะไบต์
2. อุปกรณ์บันทึกข้อมูลไม่น้อยกว่า 500 เมกะไบต์
3. เครื่องพิมพ์สำหรับคอมพิวเตอร์
4. โปรแกรมเดสทอปบนระบบปฏิบัติการ WINDOW XP
5. ระบบปฏิบัติการ WINDOW XP

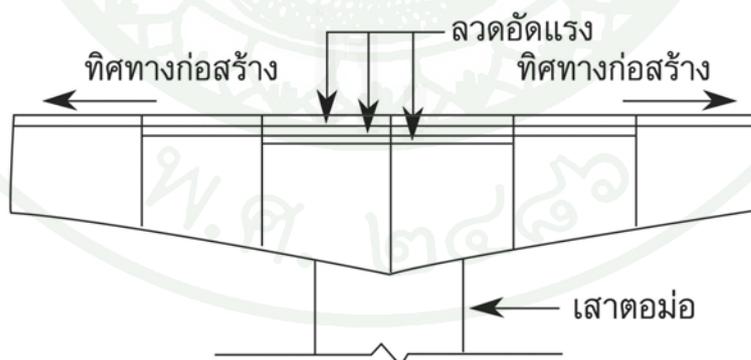
วิธีการ

สำหรับการวิเคราะห์หาระยะ โกงในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานคอนกรีตอัดแรง ต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงนี้ จะต้องทราบรูปร่างพื้นที่หน้าตัดและคุณสมบัติทางกลของพื้นที่หน้าตัด จำนวนและตำแหน่งของลวดอัดแรง การสูญเสียแรงดึงของลวดอัดแรงเนื่องจากการหดตัวในช่วงอีลาสติกและการคืบของคอนกรีต การหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีต ความฝืด การเคลื่อนตัวของสมอยึด และการคลายหน่วยแรงดึงของลวดอัดแรง ในแต่ละชั้น ส่วนย่อยของสะพานคอนกรีตอัดแรงซึ่งสามารถกระทำโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ PC BridgeIII ซึ่งพัฒนาโดย สรวุฑ (2543) จากนั้น นำผลที่ได้ต่างกันไปใช้วิเคราะห์หาระยะ โกงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกต่างๆในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง กล่าวคือ ขั้นตอนที่สะพานมีลักษณะเป็นคานปลายยื่น สมดุลสองข้าง (Balance Cantilever Beam) ขั้นตอนที่สะพานมีลักษณะเป็นคานช่วงเดียวปลายยื่น (Overhanging Beam) และขั้นตอนที่สะพานมีลักษณะเป็นคานต่อเนื่องสามช่วง (Three Span Continuous Beam) โดยพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพิ่มเติมในส่วนนี้ เพื่อเชื่อมต่อกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PC BridgeIII เดิมเป็นโปรแกรมใหม่ชื่อ PC BridgeIII Ver. 2.1 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

นำหนักบรรทุกและระยะโค้งตามขั้นตอนการก่อสร้าง

การก่อสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงตามยาว และมีความยาวช่วงสะพานมากๆ นั้นไม่สามารถก่อสร้างคานสะพานได้ในครั้งเดียว ดังนั้นจึงต้องแบ่งการก่อสร้างออกเป็นช่วงๆ และเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง จึงแบ่งคานสะพานออกเป็นชิ้นส่วน (segment) โดยแต่ละชิ้นส่วนมีความยาวใกล้เคียงกัน จากขั้นตอนการก่อสร้างในระยะต่างๆ สามารถแยกลักษณะ โครงสร้างสะพานได้สามลักษณะด้วยกัน คือ

1. คานปลายยื่นสมดุลสองข้าง (Balance Cantilever Beam) โดยเริ่มก่อสร้างจากตอม่อกลางสะพาน (pier) ด้านใดด้านหนึ่งก่อน หรืออาจก่อสร้างพร้อมๆกันทั้งสองด้านก็ได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการก่อสร้าง ในระยะนี้คานสะพานจะมีลักษณะเป็นคานปลายยื่นจากเสาตอม่อกลางสะพานทั้งสองด้านเท่าๆกัน ซึ่งจะแบ่งชิ้นส่วนย่อยของคานสะพานในแต่ละด้านของตอม่อกลางสะพานให้มีขนาดหน้าตัดและความยาวใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อให้โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในเสาตอม่อกลางสะพานมีค่าน้อยที่สุดด้วย สำหรับการวิเคราะห์ระยะโค้งสะพานในขั้นตอนนี้กำหนดให้เสาตอม่อกลางสะพานเป็นฐานรองรับแบบยึดแน่น (fixed support) ที่บริเวณกึ่งกลางของคานปลายยื่นสองด้าน ทำให้โครงสร้างคานสะพานเป็นโครงสร้างดีเทอร์มิเนต (determinate structure) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงปลายยื่นสมดุลสองข้าง

ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมดุลสองข้างระยะโค้งเกิดจากน้ำหนักกระทำต่างๆ ดังนี้

1.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) เป็นน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน โดยกำหนดเป็นน้ำหนักแผ่กระจายบนโครงสร้าง สำหรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพานสามารถคำนวณเป็นน้ำหนักบรรทุกทุกแบบแผ่กระจายตรงจุดที่พิจารณาได้ดังนี้

$$\omega = A \cdot w \quad \text{กก./ม.} \quad (1)$$

เมื่อ

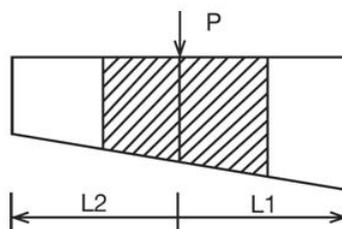
- ω = น้ำหนักบรรทุกคงที่แบบแผ่กระจาย
- A = พื้นที่หน้าตัดตามขวางที่กึ่งกลางชิ้นส่วนคานสะพาน (ตร.ม.)
- w = หน่วยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างสะพานสำหรับคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 2,400 กก./ลบ.ม.

เพื่อให้การวิเคราะห์สามารถทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากน้ำหนักแบบแผ่กระจายมีค่าเปลี่ยนแปลงตามขนาดของหน้าตัด ดังนั้นจึงเปลี่ยนน้ำหนักบรรทุกคงที่แบบแผ่กระจาย เป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่แบบเป็นจุด โดยให้กระทำที่จุดต่อระหว่างชิ้นส่วนสะพาน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P = \omega \frac{(L1+L2)}{2} \quad (2)$$

เมื่อ

- P = น้ำหนักบรรทุกคงที่แบบเป็นจุด
- ω = น้ำหนักบรรทุกคงที่แบบแผ่กระจาย
- $L1$ = ความยาวของชิ้นส่วนโครงสร้างที่อยู่ด้านหนึ่งของจุดที่พิจารณา
- $L2$ = ความยาวของชิ้นส่วนโครงสร้างที่อยู่อีกด้านหนึ่งของจุดที่พิจารณา

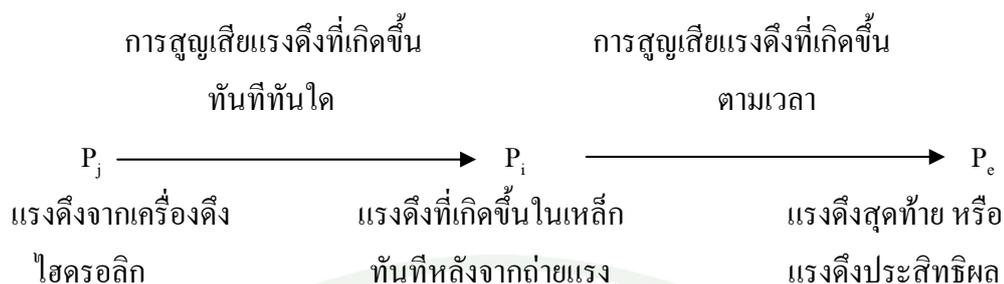


ภาพที่ 2 การแปลงน้ำหนักแบบแผ่กระจายเป็นน้ำหนักแบบเป็นจุด

1.2 น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ส่วนเพิ่ม (Superimposed Dead Load) เป็นน้ำหนักของวัสดุผิวจราจร น้ำหนักของขอบทางเท้าและน้ำหนักของราวสะพาน มีลักษณะเป็นน้ำหนักแบบแผ่สม่ำเสมอ (Uniformly Distributed Load)

1.3 น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) เป็นน้ำหนักของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆที่เคลื่อนที่บนโครงสร้างสะพานและน้ำหนักจากกองวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบนสะพาน มีลักษณะเป็นน้ำหนักแบบแผ่สม่ำเสมอนอกจากนี้ยังมีน้ำหนักกระทำแบบเป็นจุดเนื่องจากแบบหล่อขึ้นส่วนย่อยของโครงสร้างสะพานที่ปลายอิสระ

1.4 แรงดึง (Prestress) และการสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรง (Losses of Prestress) แรงดึงในลวดอัดแรงทำให้เกิดหน่วยแรงอัดในหน้าตัดคอนกรีตเป็นผลให้เกิดระยะโก่งในโครงสร้างสะพานแต่ในการอัดแรงจะมีการสูญเสียแรงดึงเกิดขึ้นในลวดอัดแรงทั้งที่เกิดจากลวดอัดแรงเองและเกิดจากคอนกรีต ซึ่งการสูญเสียแรงดึงนี้มีทั้งการสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นทันทีทันใด หลังจากถ่ายแรง (Immediate Loss) และการสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นตามเวลา (Time Dependent Loss) ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรง

1.4.1 การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นทันทีทันใด (Immediate Loss)

1.4.1.1 การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากความฝืด (Friction Loss, FR) (American Concrete Institute Committee 318 [ACI Committee 318], 2005) เกิดขึ้นจากความฝืดระหว่างลวดอัดแรงกับท่อที่ใช้ร้อยลวดอัดแรง (hollow duct) จะทำให้แรงดึงในลวดค่อยๆ ลดลงตามระยะที่ห่างออกไปจากปลายลวดอัดแรงที่ทำการดึง

$$FR = f_j \left(1 - e^{-(kx + \mu\alpha)} \right) \quad \text{เมื่อ } kx + \mu\alpha > 0.30 \quad (3)$$

หรือ

$$FR = f_j \left(\frac{kx + \mu\alpha}{1 + kx + \mu\alpha} \right) \quad \text{เมื่อ } kx + \mu\alpha \leq 0.30 \quad (4)$$

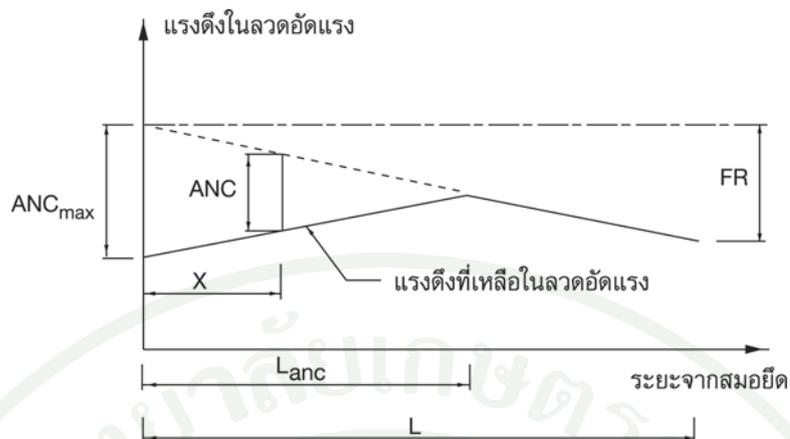
เมื่อ	FR	=	การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากความฝืด (Friction Loss)
	f_j	=	หน่วยแรงดึงที่ปลายที่ดึงลวดอัดแรงขณะถ่ายแรง
	k	=	สัมประสิทธิ์ความคด (Wobble Coefficient)
	μ	=	สัมประสิทธิ์ความฝืด (Friction Coefficient)
	α	=	ผลรวมของมุมที่เปลี่ยนไปจากปลายที่ดึงลวดอัดแรงถึงตำแหน่งที่พิจารณามีหน่วยเป็นเรเดียน
	x	=	ระยะในแนวราบจากปลายที่ดึงลวดอัดแรงถึงตำแหน่งที่พิจารณามีหน่วยเป็นเมตร

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดสำหรับลวดอัดแรง

ชนิดของลวดอัดแรง (Type of Steel)	ชนิดของวัสดุหุ้มลวดอัดแรง (Type of Duct)	μ (ต่อเรเดียน)	K (ต่อเมตร)
ลวดอัดแรงหรือ ลวดอัดแรงตีเกลียว (wire or ungalvanized strand)	ท่อโลหะมันวาว (bright metal sheathing)	0.30	0.0067
	ท่อโลหะเคลือบสังกะสี (galvanized metal sheathing)	0.25	0.0050
	หุ้มเคลือบด้วยจารบีหรือแอสฟัลต์ (greased or asphalt coated and wrapped)	0.30	0.0067
	ท่อโลหะแข็งเคลือบสังกะสี (galvanized rigid)	0.25	0.0007
เหล็กเส้นอัดแรงกำลังสูง (high-strength bars)	ท่อโลหะมันวาว (bright metal sheathing)	0.20	0.0010
	ท่อโลหะเคลือบสังกะสี (galvanized metal sheathing)	0.15	0.0007

ที่มา: Standard Specification for Highway Bridge (1996)

1.4.1.2 การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการเข้าที่ของสมอยึด (Anchorage Loss , ANC) เกิดขึ้นเมื่อดึงลวดอัดแรงจนถึงแรงดึงที่ต้องการแล้วปล่อยแม่แรง (jack) แรงดึงในลวดอัดแรงจะถ่ายไปยังสมอยึด (anchorage) ทำให้สมอยึดเกิดการเคลื่อนตัว (slip) และการเปลี่ยนรูป (deformation) โดยที่ลวดอัดแรงหย่อนลงเล็กน้อยเกิดการสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงขึ้น



ภาพที่ 4 การสูญเสียแรงดันในลวดอัดแรงเนื่องจากการเข้าที่ของสมอยึด

$$L_{anc} = \sqrt{\frac{A_{ps} \cdot E_s \cdot AncSet \cdot L}{FR}} \quad (5)$$

$$ANC = 2 \left(\frac{FR}{L} \right) (L_{anc} - x) \quad (6)$$

เมื่อ	ANC	=	การสูญเสียแรงดันในลวดอัดแรงเนื่องจากการเข้าที่ของสมอยึด
	A_{ps}	=	พื้นที่หน้าตัดของลวดอัดแรง
	E_s	=	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของลวดอัดแรง
	AncSet	=	ระยะขยับตัวเข้าที่ของสมอยึด
	FR	=	ค่าการสูญเสียแรงดันเนื่องจากความฝืดที่ระยะ L
	ANC	=	ค่าการสูญเสียแรงดันเนื่องจากการเข้าที่ของสมอยึด
	x	=	ระยะจากสมอยึดถึงจุดที่พิจารณา
	L	=	ระยะจากสมอยึดถึงจุดที่เกิดการสูญเสียแรงดันเนื่องจากความฝืดสูงสุด
	L_{anc}	=	ระยะจากสมอยึดถึงจุดที่ไม่มีการสูญเสียแรงดันเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสมอยึด

1.4.1.3 การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการหดตัวอีลาสติกของคอนกรีต (Elastic Shortening Loss , ES) (PCI Committee on Prestress Losses , 1975) เกิดขึ้นเมื่อดึงลวดอัดแรงในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง โดยที่แรงดึงในลวดอัดแรง ทำให้เกิดแรงอัดขึ้นในคอนกรีตจึงเกิดการหดตัวของคอนกรีตในช่วงอีลาสติก

$$ES = 0.5 \frac{E_s}{E_c} f_{cir} \quad (7)$$

$$f_{cir} = \frac{\sum P_j}{A} + \left[\sum (P_j e) - M_G \right] \frac{e}{I} \quad (8)$$

เมื่อ	ES	=	การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการหดตัวอีลาสติกของคอนกรีต สำหรับโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง แบบดึงทีหลัง
	E_c	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
	E_s	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของลวดอัดแรง
	f_{cir}	=	หน่วยแรงอัดในคอนกรีตที่จุดศูนย์กลางของลวดอัดแรงในขณะถ่ายแรง
	I	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดสะพาน
	e	=	ระยะเยื้องศูนย์กลางของลวดอัดแรง
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของสะพาน
	M_G	=	โมเมนต์คดที่เกิดจากน้ำหนักคงที่ของสะพาน
	P_j	=	แรงดึงในลวดอัดแรงขณะถ่ายแรง ที่หน้าตัดที่พิจารณา

1.4.2 การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นตามเวลา (Time-Dependent Loss)

1.4.2.1 การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคลายแรงดึงของลวดอัดแรง (Steel Relaxation Loss, RE) (E.G. Nawy, 1989) เกิดจากการคลายแรงดึงในตัวของลวดอัดแรงเอง ขนาดของแรงดึงที่ลดลงขึ้นอยู่กับค่าหน่วยแรงดึงเริ่มต้น เวลาที่ผ่านไปหลังจากการดึงลวดอัดแรง และชนิดของลวดอัดแรง ซึ่งผลของการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคลายแรงดึงของลวดอัดแรง ทำให้หน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงลดลง แต่ความเครียดของลวดอัดแรงเท่าเดิม

สำหรับลวดอัดแรงชนิดคลายแรงดึง (Stress-Relieved Steel)

$$RE = f_{st} \left\{ \frac{\log 24t - \log 24t_1}{10} \right\} \left[\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0.55 \right] \quad (9)$$

สำหรับลวดอัดแรงชนิดคลายแรงดึงต่ำ (Low-Relaxation Steel)

$$RE = f_{st} \left\{ \frac{\log 24t - \log 24t_1}{45} \right\} \left[\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0.55 \right] \quad (10)$$

$$\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0.55 \geq 0.05 \quad (11)$$

เมื่อ	RE	=	การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคลายแรงดึงของลวดอัดแรง
	t_1	=	เวลาเริ่มต้นในการพิจารณาในแต่ละช่วง
	t	=	เวลาในขณะที่พิจารณา
	f_{st}	=	หน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงในขณะที่พิจารณา
	f_{py}	=	กำลังรับแรงดึงของลวดอัดแรงที่จุดคราก

1.4.2.2 การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคืบของคอนกรีต (Creep Loss , CR)
(สม โปธิ์ 2550) เกิดจากน้ำหนักคงที่ถาวรกระทำกับโครงสร้างหลังจากการอัดแรง การคืบของคอนกรีต ขึ้นอยู่กับ ความชื้น (humidity) และอายุ (maturity) ของคอนกรีต ผลของการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคืบของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีความเครียดเพิ่มขึ้น แต่หน่วยแรงในคอนกรีตเท่าเดิม

$$CR = (UCR)(SCF)(MCF)(PCR) f_{cr} \quad (12)$$

$$f_{cr} = \frac{\sum P_t}{A} + \left[\sum (P_t e) - M_G \right] \frac{e}{I} \quad (13)$$

$$PCR = (AUC)_t - (AUC)_{t_1} \quad (14)$$

เมื่อ CR = การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคืบของคอนกรีต
 UCR = ค่าการสูญเสียแรงดึงสูงสุดเนื่องจากการคืบของคอนกรีต

สำหรับการบ่มคอนกรีตด้วยความชื้น (Moist Cure)

$$UCR = 95 - 28.4 E_c / 10^5 \geq 11 \quad (15)$$

สำหรับการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำยาเร่งปฏิกิริยา (Accelerated Cure)

$$UCR = 63 - 28.4 E_c / 10^5 \geq 11 \quad (16)$$

SCF = ตัวคูณเนื่องจากผลของขนาด และรูปร่างของคาน

MCF = ตัวคูณเนื่องจากอายุของคอนกรีตในขณะถ่ายแรง และระยะเวลาในการบ่ม

คอนกรีต

PCR = สัดส่วนการคืบสูงสุดของคอนกรีตในระหว่างเวลา t_1 ถึง t

AUC = สัดส่วนของการคืบที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

f_{cr} = หน่วยแรงอัดบนหน้าตัดที่จุดศูนย์กลางของลวดอัดแรงที่เวลาหลังจากถ่ายแรง

P_t = แรงดึงในลวดอัดแรงที่เวลา t หลังจากถ่ายแรง

ตารางที่ 2 ค่าตัวคูณของการคืบเนื่องจากผลของขนาดและรูปร่างของคาน

อัตราส่วนระหว่างปริมาตรและพื้นที่ผิว (V/S), ซม.	ตัวคูณเนื่องจากผลของขนาดและรูปร่างคาน 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

ที่มา: PCI Committee on Prestress Losses (1975)

ตารางที่ 3 ค่าของตัวคูณของการคืบเนื่องจากอายุของคอนกรีต ในขณะถ่ายแรงและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต

อายุของคอนกรีตหลังจาก ถ่ายแรง, วัน	ช่วงเวลาที่ใช้ในการบ่ม คอนกรีต, วัน	ตัวคูณเนื่องจากอายุของคอนกรีต 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	0.60

ที่มา: PCI Committee on Prestress Losses (1975)

ตารางที่ 4 สัดส่วนของการคืบที่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา

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
จุดสุดท้ายของการใช้งาน	1.00

ที่มา: PCI Committee on Prestress Losses (1975)

1.4.2.3 การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตจากการสูญเสียน้ำ (Shrinkage Loss , SH) หลังจากการหล่อคอนกรีตจะเกิดการหดตัว ซึ่งการหดตัวของคอนกรีตนี้เป็นการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียความชื้นในคอนกรีต การหดตัวนี้ขึ้นอยู่กับเวลาและสภาพความชื้นในอากาศ สำหรับคอนกรีตที่ผสมโดยมีน้ำมากจะเกิดการหดตัวมาก

$$SH = (USH)(SSF)(PSH) \quad (17)$$

$$PSH = (AUS)_t - (AUS)_i \quad (18)$$

เมื่อ SH = การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต

USH = การสูญเสียแรงดึงสูงสุดเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต

สำหรับคอนกรีตธรรมดา

$$USH = 1902.3 - 300E_c/10^5 \geq 845.5 \text{ กก./ตร.ซม.} \quad (19)$$

สำหรับคอนกรีตมวลเบา

$$USH = 2888.6 - 1000E_c/10^5 \geq 845.5 \text{ กก./ตร.ซม.} \quad (20)$$

SSF = ตัวคูณเนื่องจากผลของขนาดและรูปร่างของคาน

PSH = สัดส่วนการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตในระหว่างเวลา t_1 ถึง t

AUS = สัดส่วนของการหดตัวของคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

ตารางที่ 5 สัดส่วนของการหดตัวของคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

เวลาหลังจากบ่มคอนกรีต	สัดส่วนของการหดตัวสูงสุด
วัน	AUS
1	0.08
3	0.15
5	0.20
7	0.22
10	0.27
20	0.36
30	0.42
60	0.56
90	0.62
180	0.68
365	0.86
จุดสุดท้ายของการใช้งาน	1.00

ที่มา: PCI Committee on Prestress Losses (1975)

ตารางที่ 6 ค่าตัวคูณของการหดตัวของคอนกรีตเนื่องจากขนาดและรูปร่างของคาน

อัตราส่วนระหว่างปริมาตรและพื้นที่ผิว	ตัวคูณเนื่องจากผลของขนาดและรูปร่างคาน
(V/S), ซม.	SSF
2.54	1.04
5.08	0.96
7.62	0.86
10.16	0.77
12.70	0.69
15.24	0.60

ที่มา: PCI Committee on Prestress Losses (1975)

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าในช่วงการก่อสร้างคานปลายยื่นสมดุสองด้าน แรงกระทำที่ทำให้เกิดระยะโก่งประกอบด้วย น้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร น้ำหนักบรรทุกคงที่ส่วนเพิ่ม การสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรง สำหรับการสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงแบ่งเป็นสองช่วง กล่าวคือ การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นในทันทีทันใดกับการสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นตามเวลาการก่อสร้าง

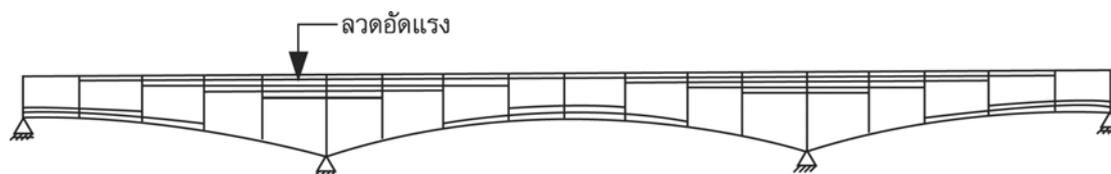
2. คานช่วงเดียวปลายยื่น (Overhanging Beam) เป็นระยะที่การก่อสร้างคานช่วงริมนอกเสร็จเต็มความยาวช่วงคาน ทำให้ปลายคานช่วงริมนอกวางอยู่บนเสาตอม่อปลายสะพาน (abutment) และปลายอีกด้านหนึ่งซึ่งเป็นส่วนของคานช่วงกลางเป็นคานปลายยื่น โดยมีจุดรองรับที่ตอม่อปลายสะพานเป็นจุดรองรับยึดหมุนและสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวราบ (roller support) และจุดรองรับที่ตอม่อกลางสะพานเป็นจุดรองรับแบบยึดหมุน (hinge support) ทำให้โครงสร้างคานสะพานเป็นโครงสร้างดีเทอร์มิเนต (determinate structure) ดังแสดงในรูป



ภาพที่ 5 โครงสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงช่วงเดียวปลายยื่น

จะเห็นได้ว่า น้ำหนักกระทำที่ทำให้เกิดระยะโก่งของคานช่วงเดียวปลายยื่นเหมือนกันกับในขั้นตอนของคานปลายยื่นสมดุสองด้าน

3. คานต่อเนื่องสามช่วง (Three Span Continuous Beam) เป็นระยะที่การก่อสร้างส่วนโครงสร้างคานสะพานทั้งสามช่วงคานเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งจะมีการเชื่อมโครงสร้างคานสะพานช่วงเดียวปลายยื่นจากฝั่งซ้ายและฝั่งขวาเข้าด้วยกันที่จุดกึ่งกลางของคานสะพานช่วงกลาง ทำให้โครงสร้างคานสะพานเป็นคานต่อเนื่องสามช่วง ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบอินดีเทอร์มิเนต (indeterminate structure) ดังแสดงในรูป

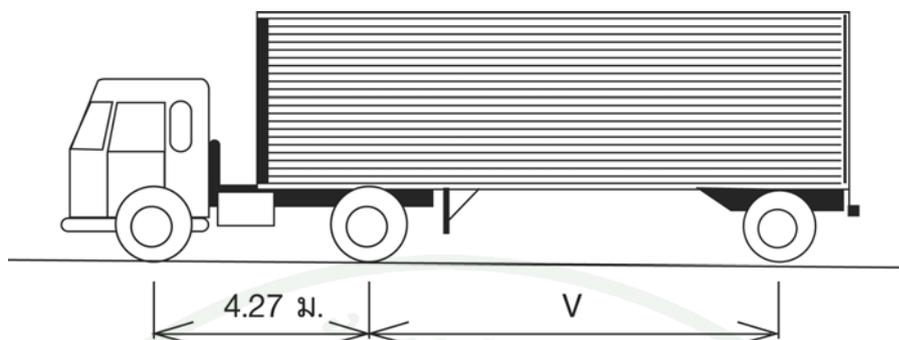


ภาพที่ 6 โครงสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วง

ในคานต่อเนื่องสามช่วงจะพิจารณาเฉพาะระยะ โกงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกจรซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกทุกเท่านั้น เนื่องจากโครงสร้างสะพานได้เสร็จสมบูรณ์แล้ว เป็นการตรวจสอบสภาพการใช้งานของสะพาน (workability) โดยให้สะพานมีระยะ โกงในขอบเขตที่ยอมรับของข้อกำหนดของสะพาน

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ที่เคลื่อนที่บนสะพาน สามารถคำนวณได้จากข้อกำหนดของ AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้น้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐานรถบรรทุก HS20-44 ตามข้อกำหนด AASHTO เป็นรถบรรทุกชนิดลากจูงกึ่งพ่วง โดยพิจารณาน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างสะพานเป็นสองประเภทคือ

ก. น้ำหนักรถบรรทุก (Truck Load) โดยมีระยะห่างระหว่างเพลาหน้าและเพลากลาง 4.27 เมตรและระยะห่างระหว่างเพลากลางและเพลาหลังเปลี่ยนแปลงได้จาก 4.27 เมตร ถึง 9.15 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้วางตำแหน่งของเพลาแล้วทำให้เกิดหน่วยแรงสูงสุดในสะพาน โดยมีน้ำหนักลงเพลา ดังแสดงในภาพที่ 7



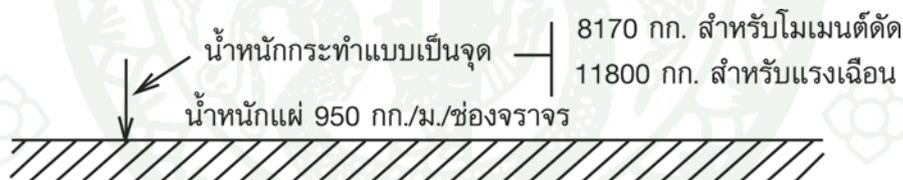
HS20-44 3640 กก. 14540 กก. 14540 กก.

V = ระยะระหว่างล้อหลังกับล้อรถพ่วงมีค่าระหว่าง 4.27 – 9.15 เมตร

สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 4.27 เมตร

ภาพที่ 7 น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบสะพานตามข้อกำหนดของ AASHTO

ข. น้ำหนักแผ่เทียบเท่า (Equivalent Lane Load) ซึ่งสามารถใช้แทนที่น้ำหนักบรรทุกในกรณีที่ทำให้เกิดหน่วยแรงในหน้าตัดสะพานสูงกว่าน้ำหนักบรรทุก ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 น้ำหนักแผ่เทียบเท่าที่ใช้ออกแบบสะพานตามข้อกำหนด AASHTO

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์หาหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร สำหรับสะพานที่มีหลายช่องจราจร ตามข้อกำหนดของ AASHTO กำหนดไว้ว่า สำหรับสะพานที่มีช่องจราจรไม่เกินสองช่องจราจรให้คิदन้หนักบรรทุกจรเต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสะพานที่มีสามช่องจราจรให้คิदन้หนักบรรทุกจร 90 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับสะพานที่มีช่องจราจรตั้งแต่สี่ช่องจราจรขึ้นไป ให้คิदन้หนักบรรทุกเพียง 75 เปอร์เซ็นต์

แรงกระแทก (Impact Load) ยานพาหนะที่เคลื่อนที่ไปบนสะพานจะทำให้เกิดหน่วยแรงในสะพานสูงกว่าเมื่อยานพาหนะจอดอยู่บนสะพาน หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลของการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ (dynamic effect) ซึ่งอาจเกิดจากความไม่เรียบของผิวจราจร การที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ข้ามสะพานด้วยความเร็ว และการสั่นสะเทือนของยานพาหนะ ซึ่งทำให้ตัวสะพานสั่นสะเทือนไปด้วย ตามข้อกำหนดของ AASHTO ให้เพิ่มค่าของน้ำหนักบรรทุกจากรน้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักแผ่เทียบเท่า เนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในรูปของแรงกระแทก ดังนี้

$$I = \frac{15.24}{(L+38)} \quad (21)$$

เมื่อ I = ตัวประกอบแรงกระแทก มีค่าไม่เกิน 0.30

L = ความยาวของสะพานมีหน่วยเป็นเมตร

ในการหาแรงกระแทกสามารถทำได้โดยนำตัวประกอบแรงกระแทก I คูณกับแรงซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกตามข้อกำหนด AASHTO เท่านั้น

ดังนั้นในช่วงคานต่อเนื่องสามช่วงจะพิจารณาแรงกระทำที่ทำให้เกิดระยะ โคง่ จากน้ำหนักบรรทุกและแรงกระแทกเท่านั้น

การวิเคราะห์ระยะโก่งของโครงสร้างสะพานตามขั้นตอนการก่อสร้าง

การวิเคราะห์หาระยะโก่งของคานปลายยื่นสมดุลสองด้าน คานช่วงเดี่ยวยปลายยื่นและคานต่อเนื่องสามช่วง ใช้วิธีสติฟเนสโดยตรง (Direct Stiffness Method) โดยดำเนินไปตามขั้นตอนสำคัญ ๆ ดังนี้

1. กำหนดให้โครงสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วง ประกอบด้วยชิ้นส่วนย่อยซึ่งต่อกันด้วยจุดต่อ โดยพิจารณาชิ้นส่วนที่นำมาต่อกันในแต่ละชิ้นส่วน เป็นคานสองมิติ (2-Dimensional Beam Elements)
2. คำนวณหาเมทริกซ์สติฟเนสของชิ้นส่วนที่เป็นคานสองมิตินั้นๆ ในระบบพิกัดเฉพาะ (Local Coordinate System)
3. เปลี่ยน (transform) เมทริกซ์สติฟเนสของชิ้นส่วนคานสองมิติ ในระบบพิกัดเฉพาะมาเป็นเมทริกซ์สติฟเนสในระบบพิกัดรวม (Global Coordinate System) แต่ในกรณีนี้ เมทริกซ์สติฟเนสของชิ้นส่วนในระบบพิกัดเฉพาะกับเมทริกซ์สติฟเนสในระบบพิกัดรวมเหมือนกัน เนื่องจากแกน X, Y, Z ของระบบพิกัดเฉพาะกับระบบพิกัดรวมทับกัน
4. รวบรวม (superposition) ค่าของเมทริกซ์สติฟเนสของชิ้นส่วนคานสองมิติให้ระบบพิกัดรวมเข้าด้วยกันเพื่อรวมเป็นเมทริกซ์สติฟเนสของโครงสร้างสะพาน
5. คำนวณค่าการเปลี่ยนตำแหน่งซึ่งก็คือ มุมหมุน (rotation) และ ระยะโก่ง (deflection) ที่จุดต่อของโครงสร้างสะพานที่ไม่ทราบค่า

สมการสติฟเนส (Stiffness Equation) ของชิ้นส่วนในระบบพิกัดรวม ในช่วงคานปลายยื่น สมดุลสองด้านและคานช่วงเดียวปลายยื่น แสดงได้ดังนี้ (สมโพธิ์ 2550)

$$\begin{Bmatrix} P_{xi} \\ P_{yi} \\ m_{zi} \\ P_{xj} \\ P_{yj} \\ m_{zj} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & \frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & \frac{4EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & \frac{2EI_z}{L} \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & -\frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & \frac{2EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_{xi} \\ \delta_{yi} \\ \theta_{zi} \\ \delta_{xj} \\ \delta_{yj} \\ \theta_{zj} \end{Bmatrix} \quad (22)$$

และสมการเมทริกซ์สติฟเนสของชิ้นส่วนในระบบพิกัดรวม ในช่วงคานต่อเนื่องสามช่วง ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} P_{yi} \\ m_{zi} \\ P_{yj} \\ m_{zj} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{12EI_z}{L^3} & \frac{6EI_z}{L^2} & -\frac{12EI_z}{L^3} & \frac{6EI_z}{L^2} \\ \frac{6EI_z}{L^2} & \frac{4EI_z}{L} & -\frac{6EI_z}{L^2} & \frac{2EI_z}{L} \\ -\frac{12EI_z}{L^3} & -\frac{6EI_z}{L^2} & \frac{12EI_z}{L^3} & -\frac{6EI_z}{L^2} \\ \frac{6EI_z}{L^2} & \frac{2EI_z}{L} & -\frac{6EI_z}{L^2} & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_{yi} \\ \theta_{zi} \\ \delta_{yj} \\ \theta_{zj} \end{Bmatrix} \quad (23)$$

โดยที่

δ_{xi} และ δ_{xj} คือการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacements) ที่จุดต่อ i และ j ตามแนวแกนของ โครงสร้างสะพาน

δ_{yi} และ δ_{yj} คือ การเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacements) ที่จุดต่อ i และ j ในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนของโครงสร้างสะพาน

θ_{zi} และ θ_{zj} คือ มุมหมุน (Rotations) รอบแกนประธานหลัก (Major Axis) ที่จุดต่อ i และ j ของหน้าตัดโครงสร้างสะพาน

P_{xi} และ P_{xj} คือ แรงกระทำ (Forces) ที่จุดต่อ i และ j ตามแนวแกนของโครงสร้างสะพาน

P_{yi} และ P_{yj} คือ แรงกระทำ (Forces) ที่จุดต่อ i และ j ในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนของโครงสร้างสะพาน

M_{zi} และ M_{zj} คือ โมเมนต์คด (Bending Moments) รอบแกนประธานหลัก (Major Axis) ที่จุดต่อ i และ j ของหน้าตัดโครงสร้างสะพาน

L คือ ความยาวของชิ้นส่วนย่อย (Length of Segment) ของโครงสร้างสะพาน

E คือ โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของคอนกรีตของชิ้นส่วนย่อย

I_z คือ โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia) ของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนย่อย รอบแกนประธานหลัก (Major Axis)

ในช่วงคานปลายยื่นสมคูลสองด้านและคานช่วงเดียวปลายยื่น แรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน ในสมการที่ (22) มีดังนี้

P_{xi} และ P_{xj} คือ แรงอัดในคอนกรีตที่เกิดจากการดึงลวดอัดแรง โดยพิจารณาการสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงเนื่องจากความฝืด การเข้าที่ของสมอยึดและการคลายหน่วยแรงดึงของลวดอัดแรง การหดตัวในช่วงอีลาสติก การหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีตและการคืบของคอนกรีตที่จุดต่อ i และ j

P_{yi} และ P_{yj} คือ แรงกระทำที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร น้ำหนักบรรทุกคงที่ส่วนเพิ่มที่จุดต่อ i และ j

M_{zi} และ M_{zj} คือ โมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร น้ำหนักบรรทุกคงที่ส่วนเพิ่มและโมเมนต์ที่เกิดจากระยะเยื้องศูนย์กลางของแรงดึงในลวดอัดแรงที่จุดต่อ i และ j

ในช่วงคานต่อเนื่องสามช่วง แรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน ในสมการที่ (23) มีดังนี้

P_{yi} และ P_{yj} คือ แรงกระทำที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจรซึ่งเป็นน้ำหนักจรบรรทุกหรือน้ำหนักแผ่เทียบเท่าและแรงกระทำ

M_{zi} และ M_{zj} คือ โมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกจรซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกทุกหรือ น้ำหนักบรรทุกเทียบเท่าและแรงกระทำ

สมการ (22) และ (23) สามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\{F\} = [K]\{\delta\} \quad (24)$$

เมื่อ $\{F\}$ = แรงกระทำที่จุดต่อของชิ้นส่วนย่อยในโครงสร้างสะพานในระบบพิกัดรวม
 $[K]$ = เมทริกซ์สติเฟเนสของโครงสร้างสะพานในระบบพิกัดรวมที่เกิดจากการรวม
 เมทริกซ์สติเฟเนสของชิ้นส่วนย่อยเข้าด้วยกัน
 $\{\delta\}$ = การเปลี่ยนตำแหน่งที่จุดต่อของชิ้นส่วนย่อยในโครงสร้างสะพานในระบบพิกัด
 รวม

จากสมการ (24) สามารถหาระยะโก่ง ได้ดังนี้

$$\{\delta\} = [K]^{-1}\{F\} \quad (25)$$

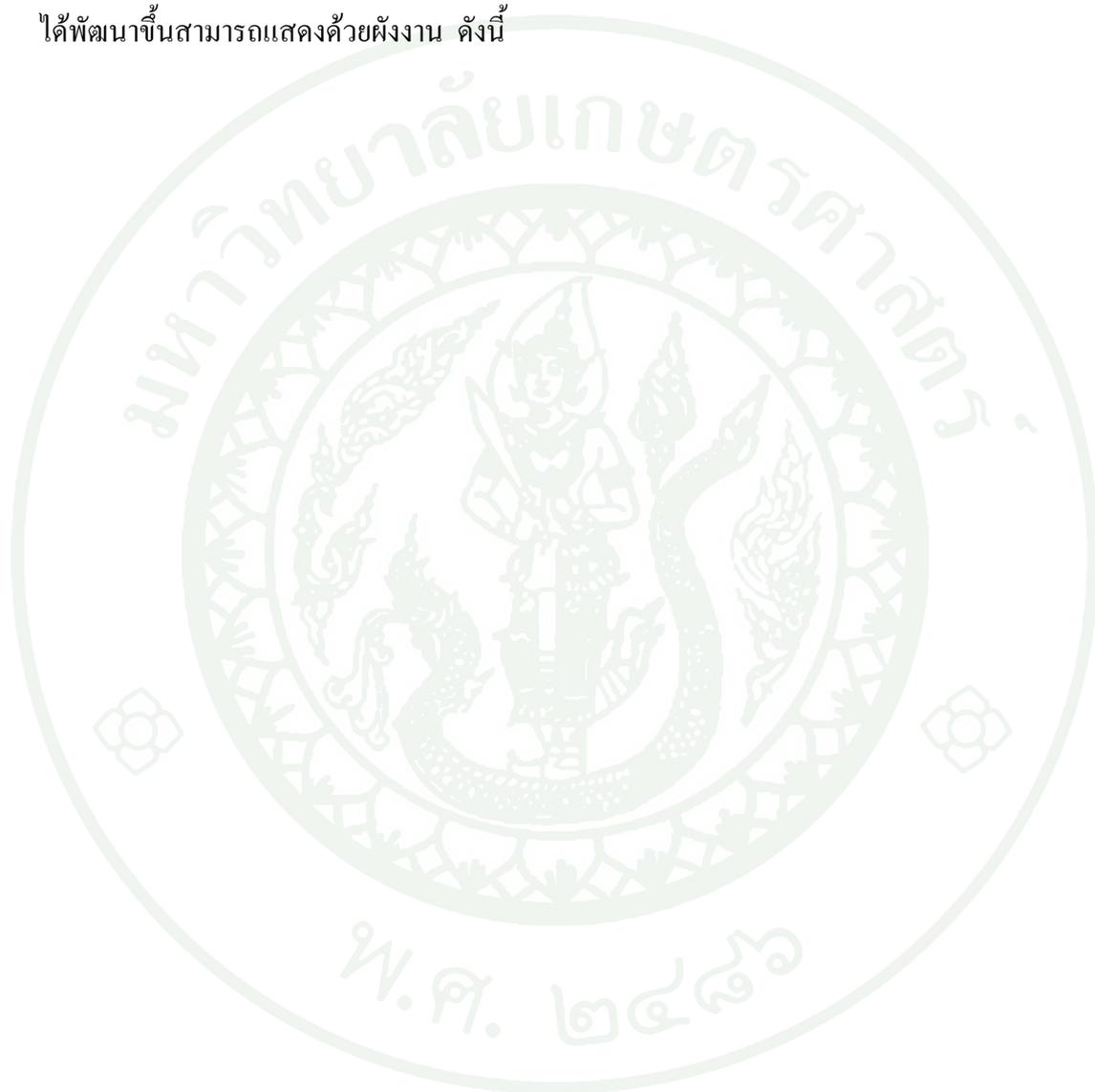
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับวิเคราะห์ระยะโค้งของโครงสร้างสะพานตามขั้นตอนการก่อสร้าง

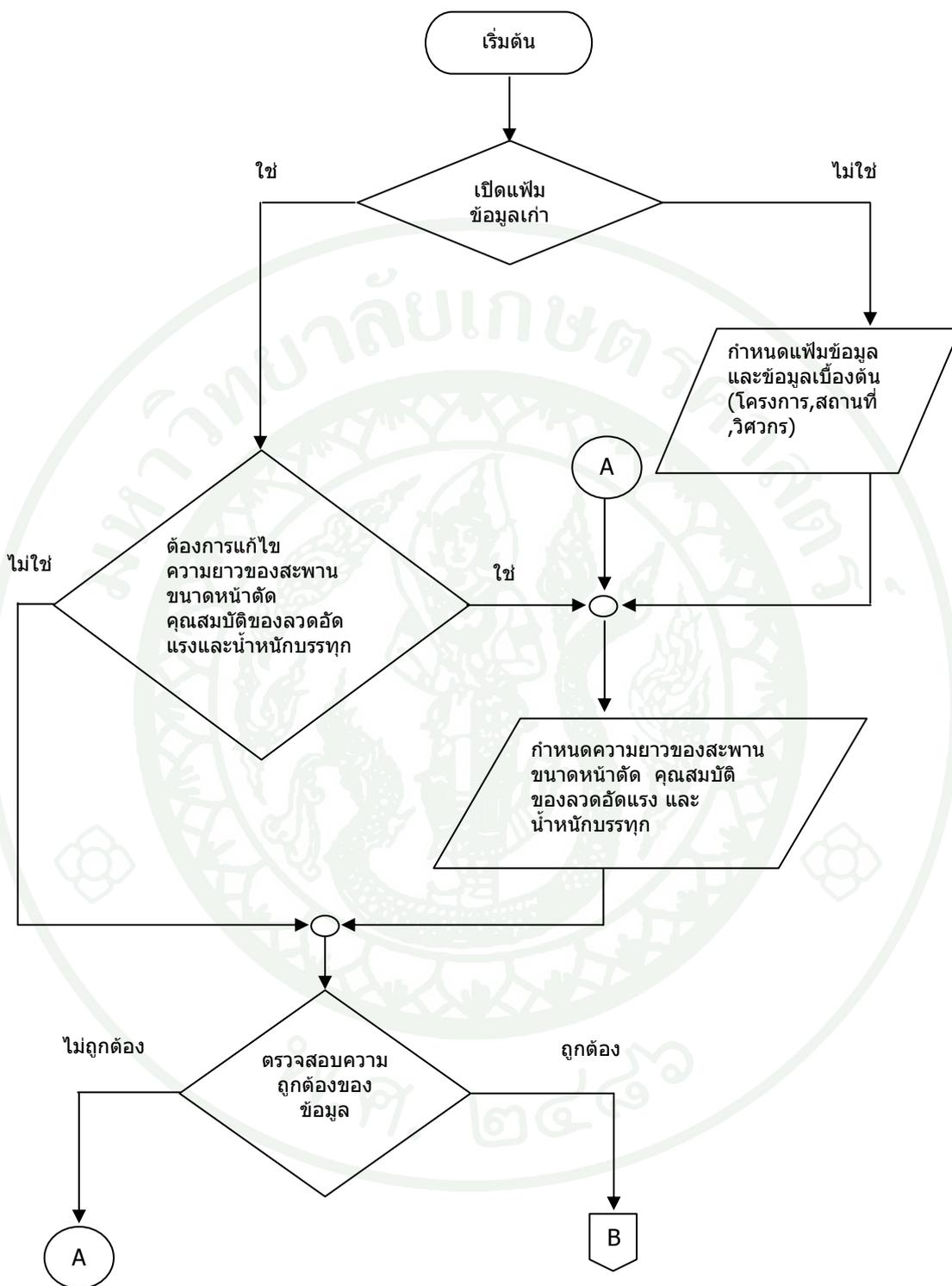
การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาระยะโค้งของสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วง ที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงตามความยาว เขียนโดยใช้โปรแกรมเคล็พล์ ซึ่งทำการแบ่งส่วนของโปรแกรมเป็นแฟ้มข้อมูลย่อย 10 แฟ้ม เพื่อสะดวกในการปรับปรุงและแก้ไข ซึ่งแต่ละแฟ้มแยกตามหน้าที่ ดังนี้

1. UMatrix.pas เป็นแฟ้มข้อมูลที่เก็บ โปรแกรมย่อยสำหรับคำนวณ การคูณ การหาส่วนกลับของแมทริกซ์
2. UCantileverBeam.pas เป็นแฟ้มข้อมูลที่เก็บ โปรแกรมย่อยสำหรับคำนวณค่าระยะโค้ง และมุมหมุนในคานปลายยื่นสมคูลสองข้าง และพิมพ์ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ออกทางเครื่องพิมพ์ในรูปแบบของตาราง
3. UOverhangingBeam.pas เป็นแฟ้มข้อมูลที่เก็บ โปรแกรมย่อยสำหรับคำนวณค่าระยะโค้งและมุมหมุนในคานช่วงเดี่ยวยปลายยื่น และพิมพ์ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ออกทางเครื่องพิมพ์ในรูปแบบของตาราง
4. UContinuousBeam.pas เป็นแฟ้มข้อมูลที่เก็บ โปรแกรมย่อยสำหรับคำนวณค่าระยะโค้งและมุมหมุนในคานต่อเนื่องสามช่วง และพิมพ์ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ออกทางเครื่องพิมพ์ในรูปแบบของตาราง
5. FrmViewResult3 เป็นแฟ้มข้อมูลที่เก็บ โปรแกรมย่อยสำหรับแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปแบบของตาราง ในคานปลายยื่นสมคูลสองข้าง
6. FrmViewResult4 เป็นแฟ้มข้อมูลที่เก็บ โปรแกรมย่อยสำหรับแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปแบบของตาราง ในคานช่วงเดี่ยวยปลายยื่น
7. FrmViewResult5 เป็นแฟ้มข้อมูลที่เก็บ โปรแกรมย่อยสำหรับแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปแบบของตาราง ในคานต่อเนื่องสามช่วง
8. UGCantilever.pas เป็นแฟ้มข้อมูลที่เก็บ โปรแกรมย่อยสำหรับแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของกราฟฟิค ในคานปลายยื่นสมคูลสองข้าง
9. UGOverhanging.pas เป็นแฟ้มข้อมูลที่เก็บ โปรแกรมย่อยสำหรับแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของกราฟฟิค ในคานช่วงเดี่ยวยปลายยื่น

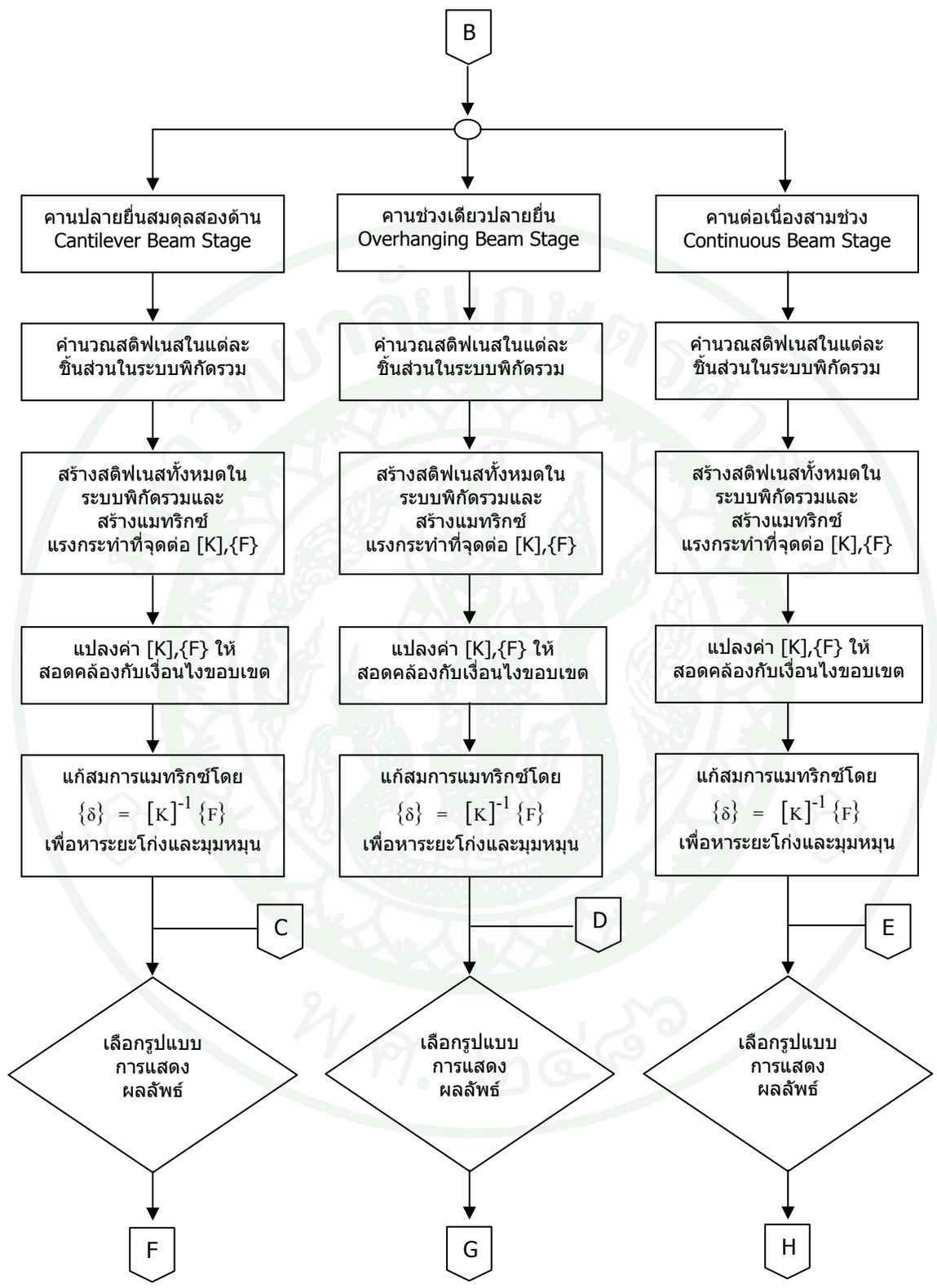
10. UGContinuous.pas เป็นแฟ้มข้อมูลที่เก็บโปรแกรมย่อยสำหรับแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของกราฟฟิก ในคานต่อเนื่องสามช่วง

ลำดับขั้นตอนในการวิเคราะห์ระยะโค้งของโครงสร้างสะพานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถแสดงด้วยผังงาน ดังนี้

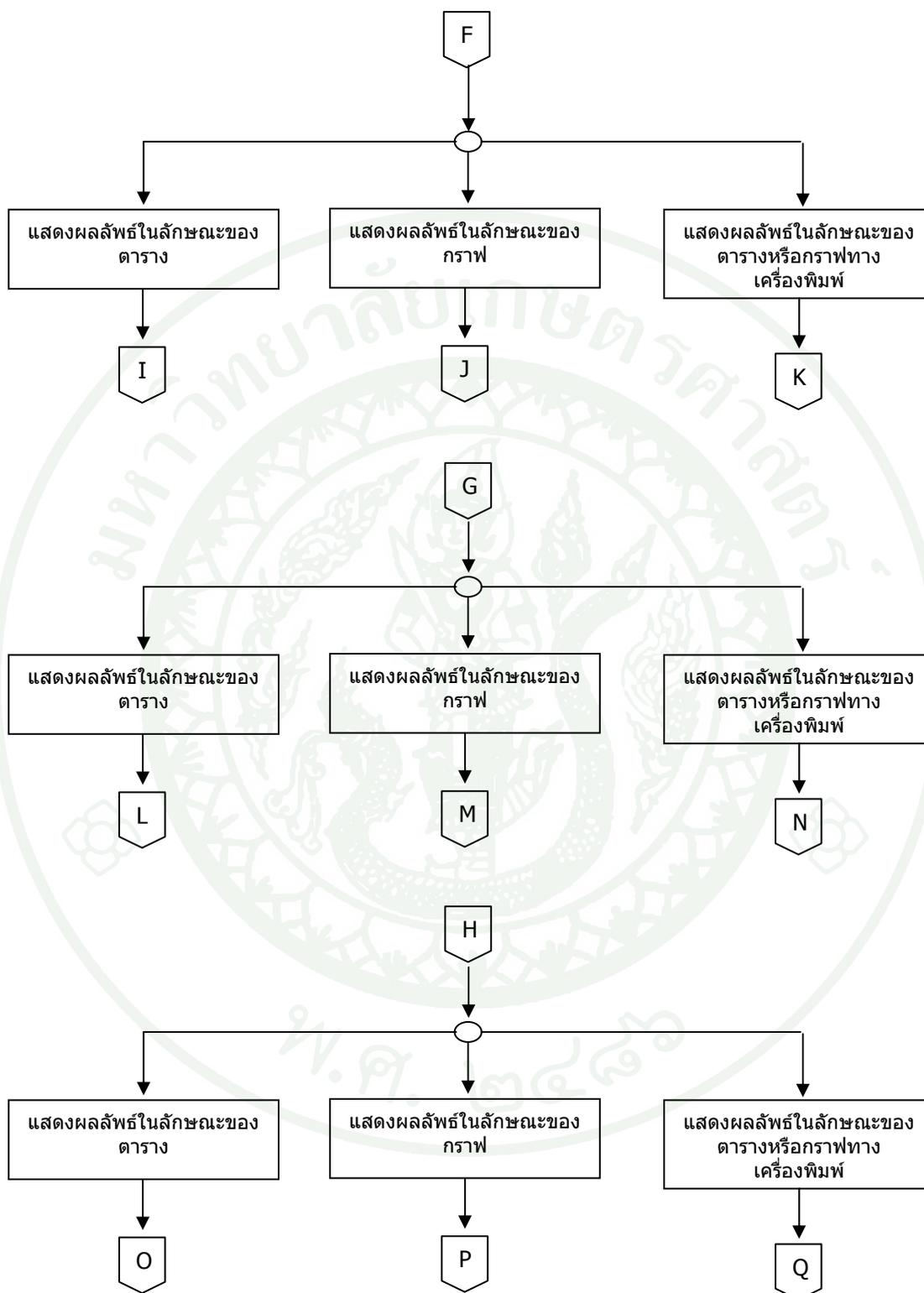




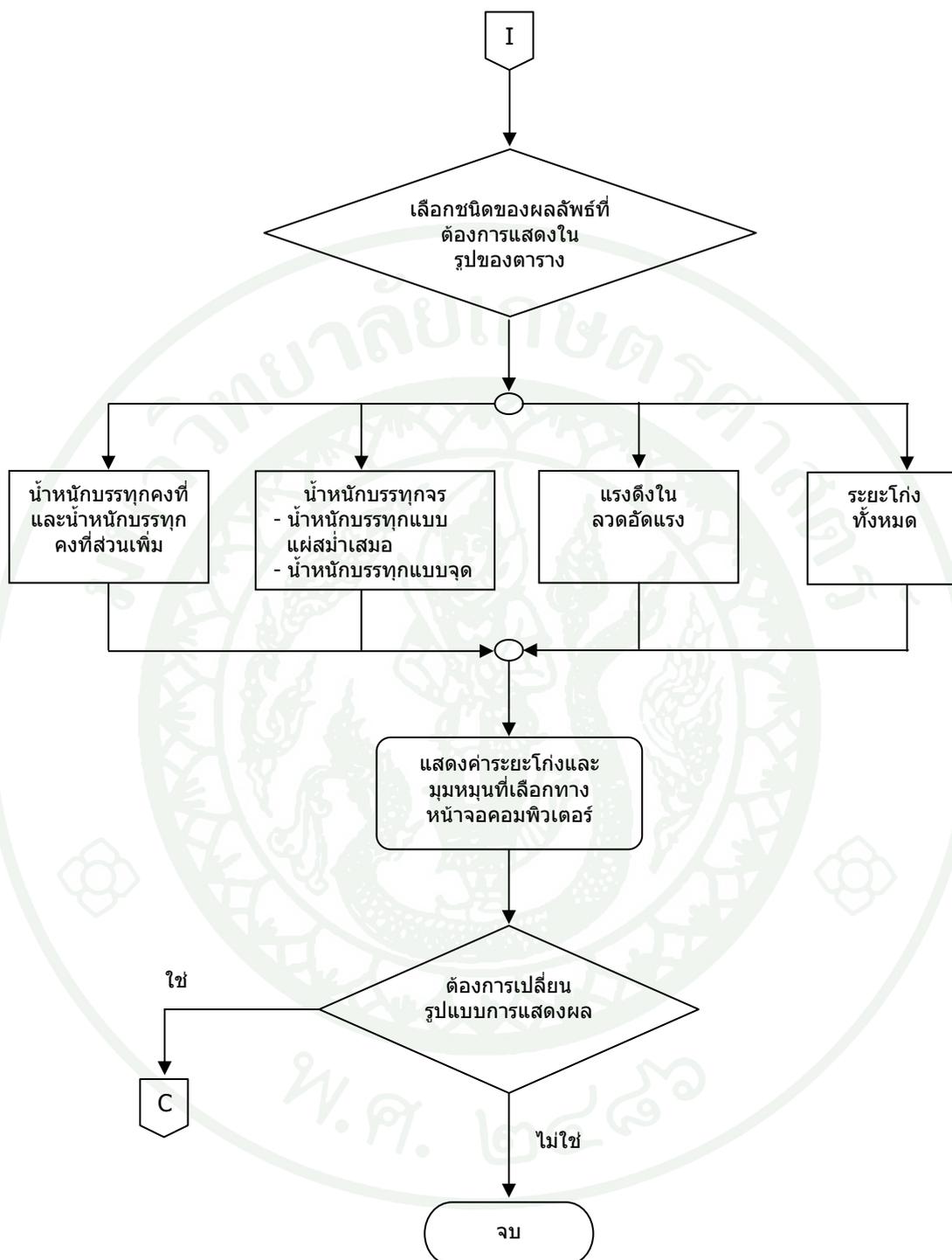
ภาพที่ 9 ฟังก์ชันลำดับขั้นตอนการหาระยะ โท่งและมุมหมุนในโปรแกรม PCBridgeIII Ver. 2.1



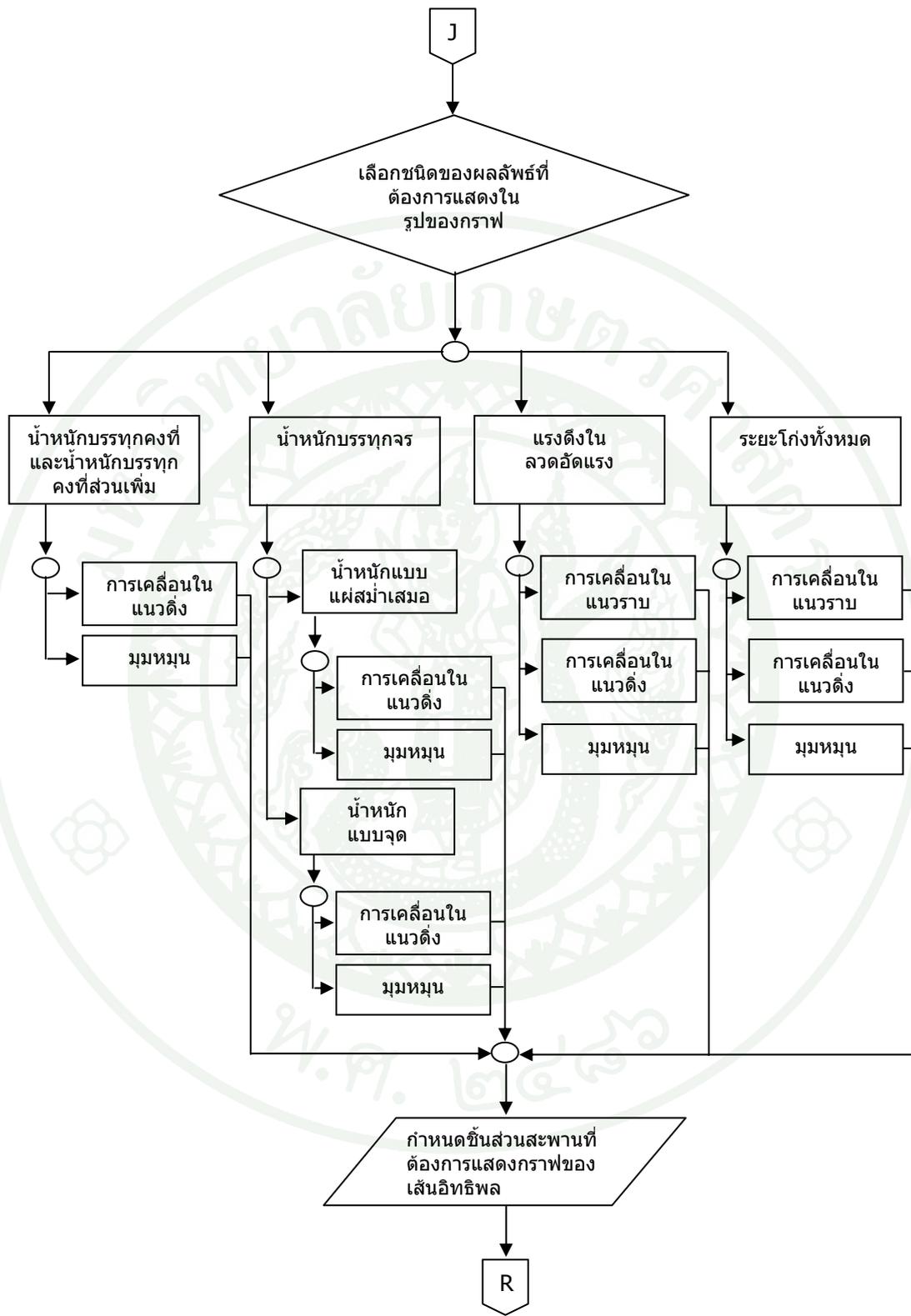
ภาพที่ 9 (ต่อ)



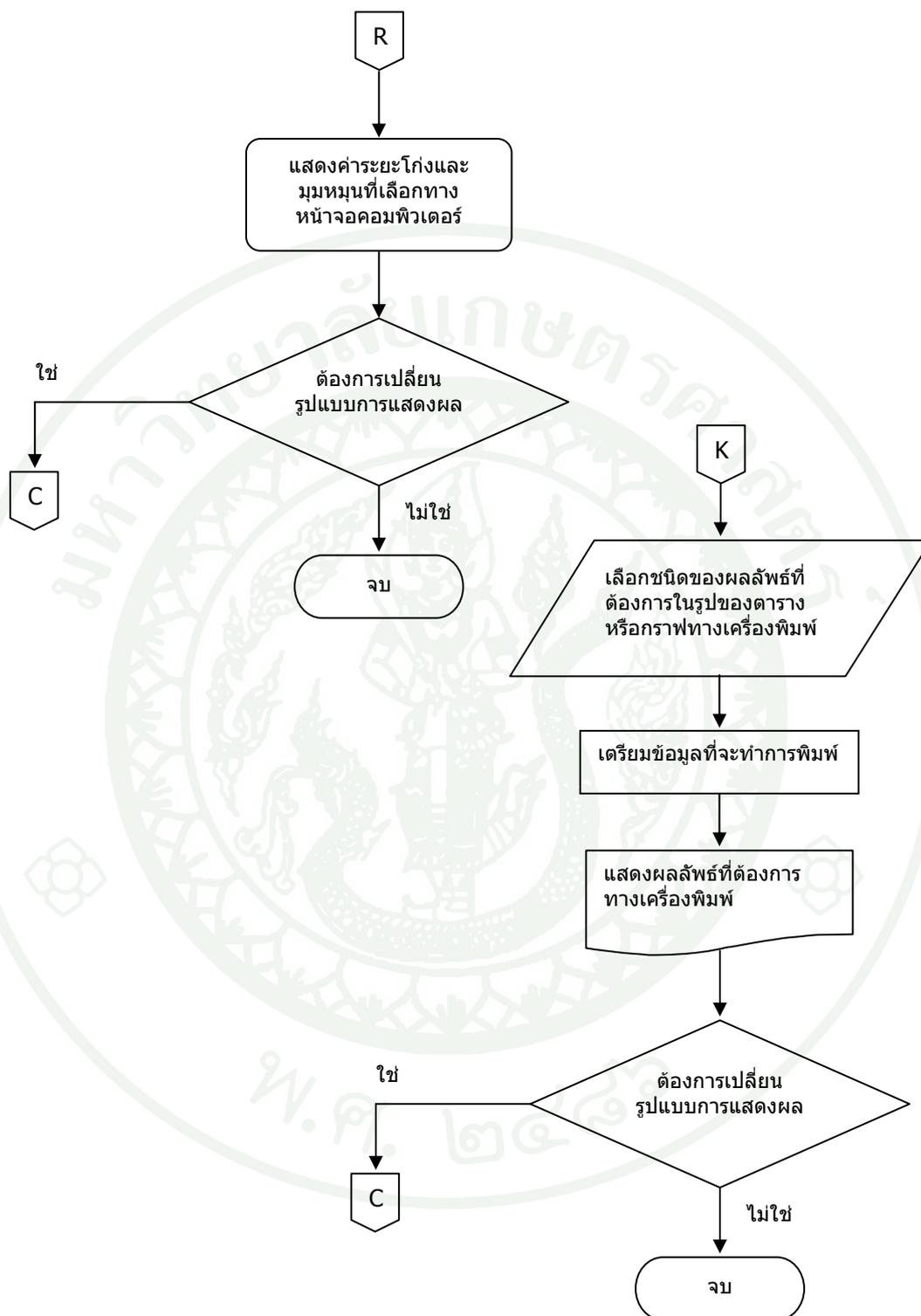
ภาพที่ 9 (ต่อ)



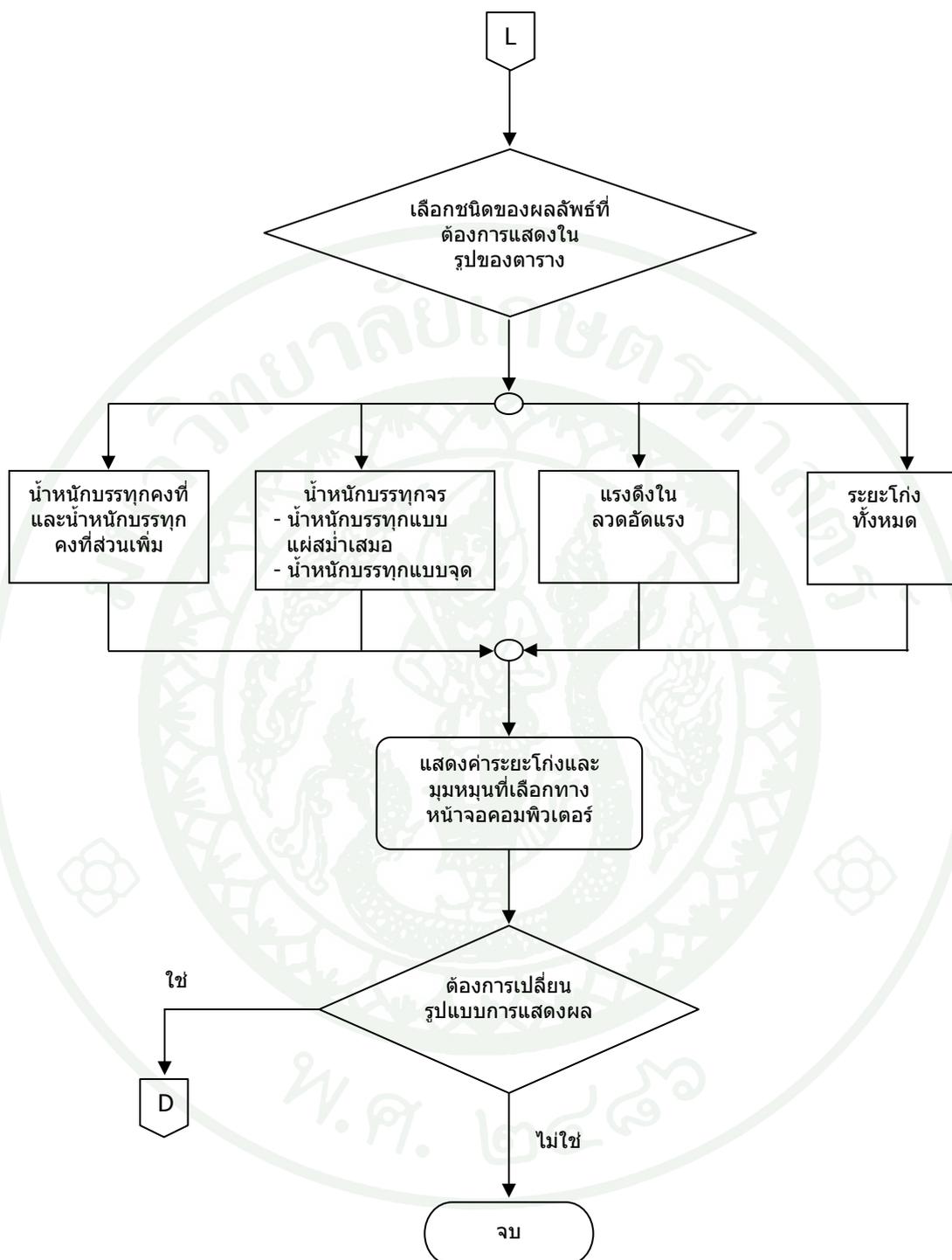
ภาพที่ 9 (ต่อ)



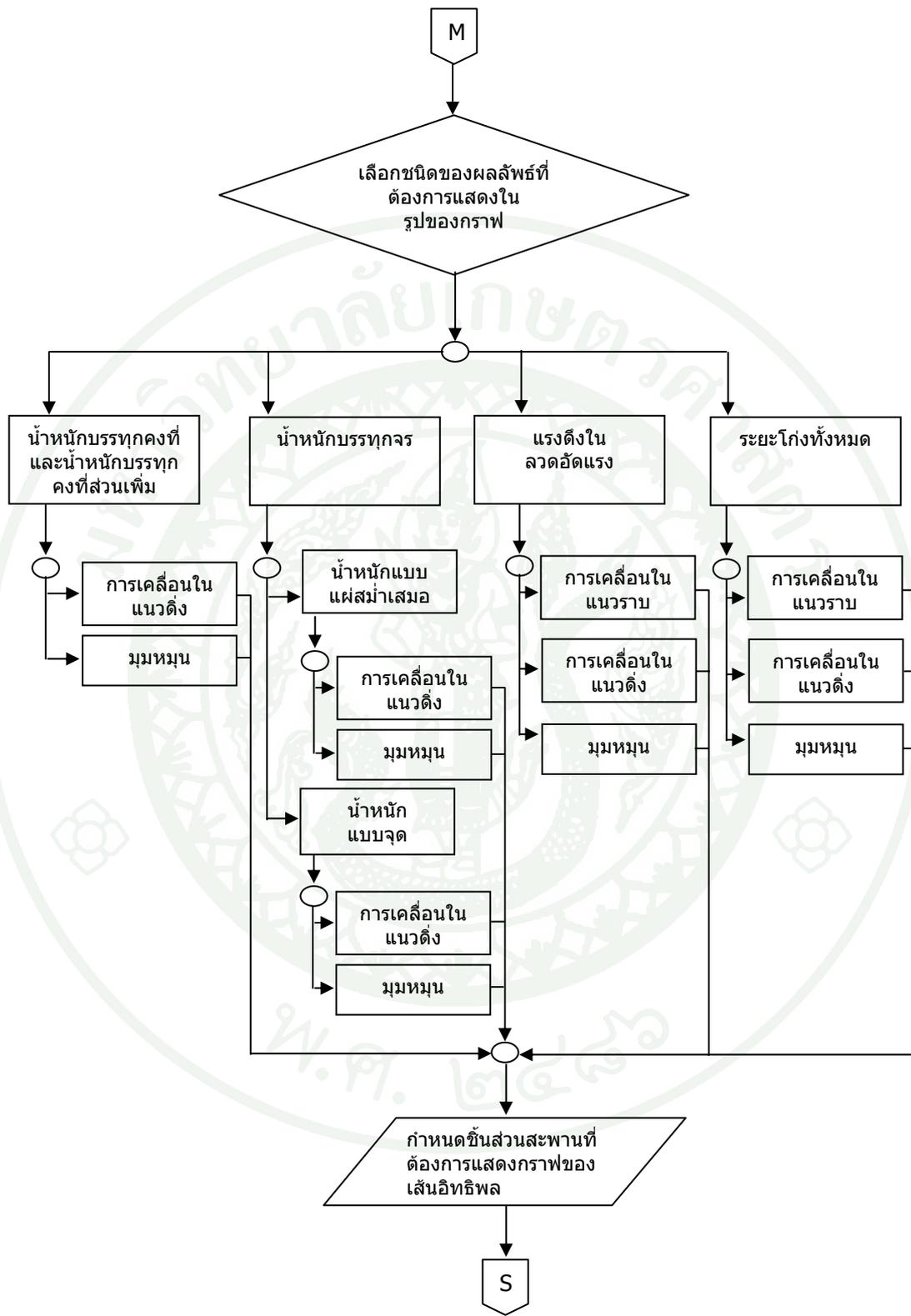
ภาพที่ 9 (ต่อ)



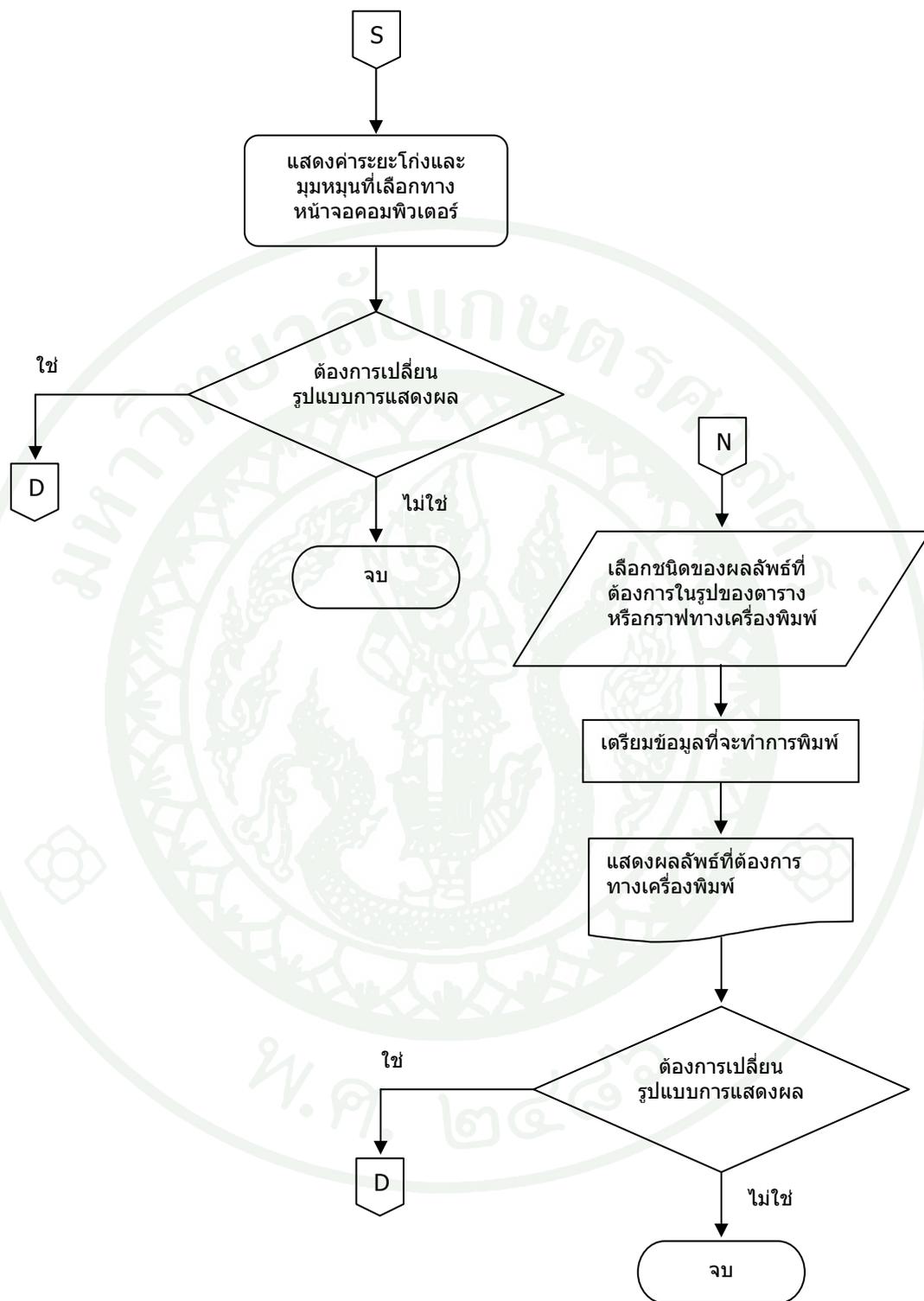
ภาพที่ 9 (ต่อ)



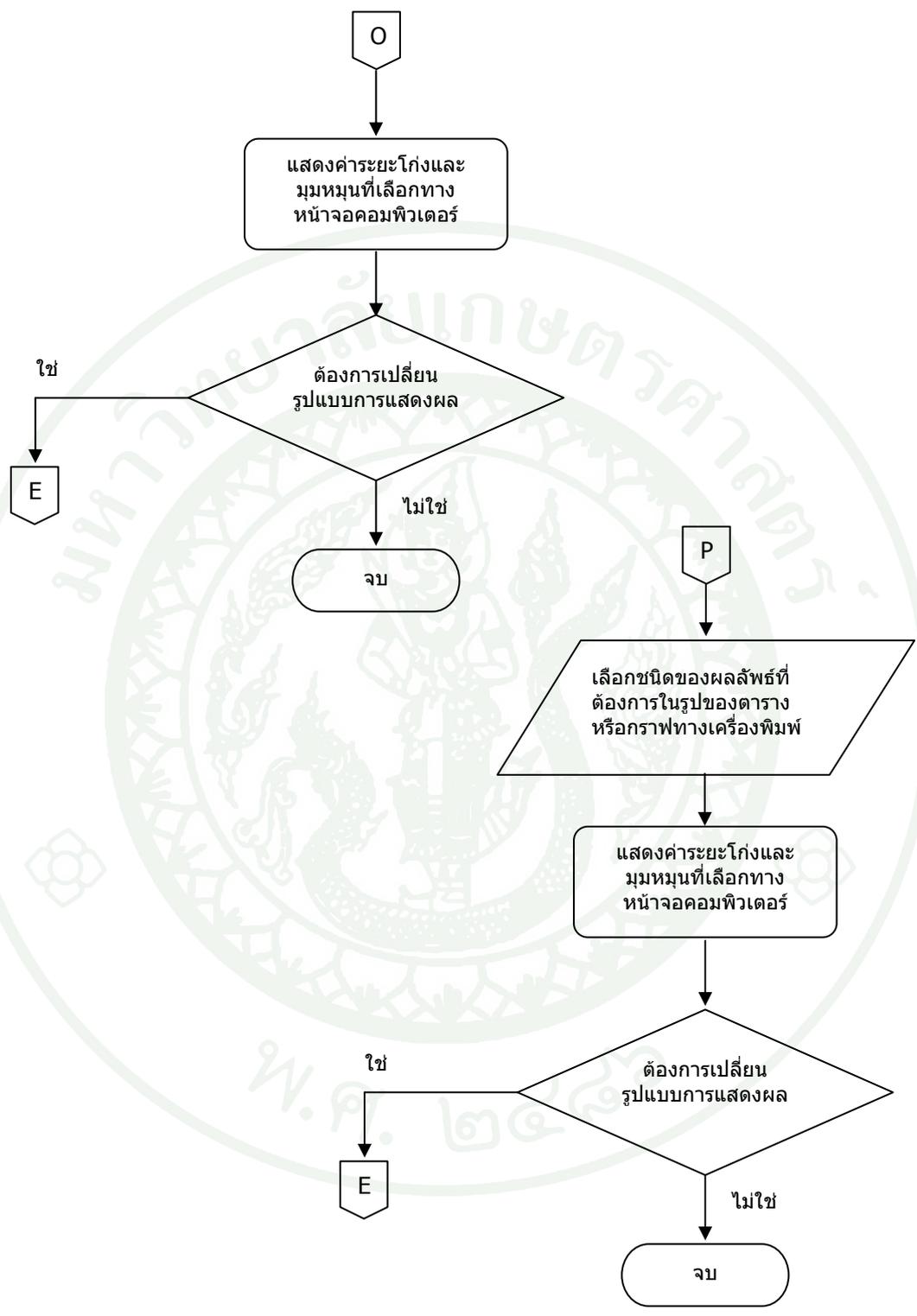
ภาพที่ 9 (ต่อ)



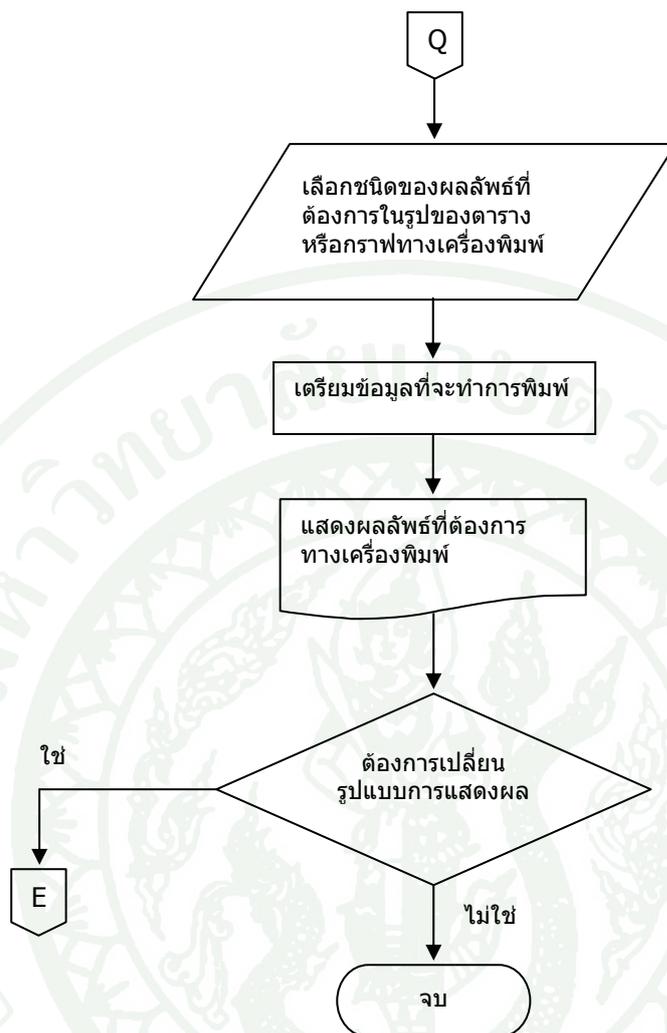
ภาพที่ 9 (ต่อ)



ภาพที่ 9 (ต่อ)



ภาพที่ 9 (ต่อ)



ภาพที่ 9 (ต่อ)

ผลและวิจารณ์

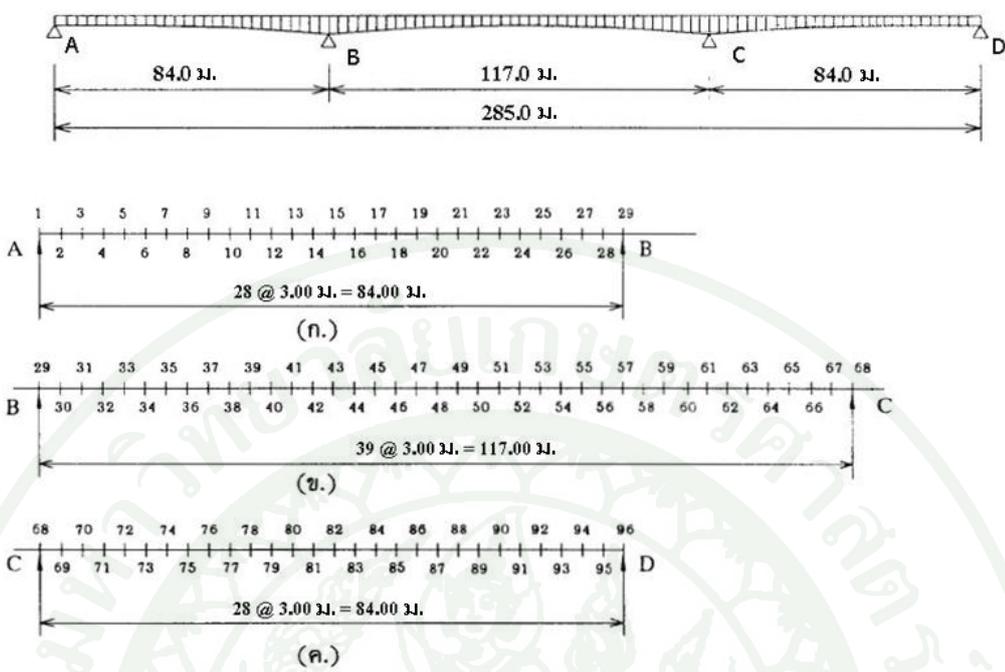
ผล

การวิเคราะห์ระยะ โกงของสะพานจำเป็นต้องออกแบบหน้าตัดคานสะพานในแต่ละชั้น ส่วนย่อยมาก่อนซึ่งสามารถกระทำได้โดยใช้โปรแกรม PC BridgeIII เดิมและตัดแปลงมาเป็น โปรแกรม PC BridgeIII Ver. 2.1 ซึ่งมีข้อมูลและตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- Load Data สำหรับกำหนดน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างสะพาน
- Geometrical Data สำหรับกำหนดความยาวของช่วงสะพานและความลึกของสะพาน
- Cross Section Data สำหรับกำหนดลักษณะและขนาดของหน้าตัดสะพาน
- Prestressing Data สำหรับกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรง

จากผลการวิเคราะห์โมเมนต์คัดและแรงเฉือนในแต่ละชั้นส่วนย่อยซึ่งใช้สำหรับออกแบบ หน้าตัดคานสะพาน จำนวนและตำแหน่งของลวดอัดแรงในแต่ละหน้าตัดจากนั้นจึงสามารถนำไป วิเคราะห์ระยะ โกงในแต่ละชั้นตอนการก่อสร้างต่อไป

ตัวอย่างการวิจัยเป็นสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงตาม ความยาวและมีลักษณะสมมาตร โดยมีคานช่วงริมซ้ายยาว 84 เมตร คานช่วงกลางยาว 117 เมตร และคานช่วงริมขวา 84 เมตร ในการวิจัยได้แบ่งคานออกเป็นชั้นส่วนย่อย ที่มีความยาวของ ชั้นส่วนเท่ากันดังนี้ คานสะพานช่วงกลางแบ่งออกเป็น 39 ชั้นส่วน และสำหรับคานสะพานช่วงริม แบ่งออกเป็น 28 ชั้นส่วน แต่ละชั้นส่วนยาวเท่ากับสามเมตร ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 สะพานต่อเนื่องสามช่วงและจุดต่อของชั้นส่วนย่อยในคานสะพานแต่ละช่วงคาน

1. น้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างสะพาน (Load Data)

ประกอบด้วย น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) และน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ดังแสดงในภาพที่ 11

Design Load Data		
Dead load		
Unit weight of concrete	2400.00	kg/cu.m.
Superimposed dead load	186.53	kg/sq.m.
Live load		
No. of traffic lanes	3	
Class of loading	HS20-44	
Lane loading		
Concentrated load for moment	8170.00	kg.
Concentrated load for shear	11800.00	kg.
Uniformly distributed load	950.00	kg/m.
Ratio of concentrated load for moment [construction stage]	1.00	
Ratio of uniformly distributed load [construction stage]	1.00	
Truck loading		
Front axle	3640.00	kg.
Middle axle	14540.00	kg.
Rear axle	14540.00	kg.
Axle spacing (front - middle)	4.27	m.
Axle spacing (middle - rear)	4.27	m.

ภาพที่ 11 การกำหนดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพาน

- Dead Load น้ำหนักบรรทุกคงที่

Unit weight of concrete เป็นน้ำหนักของคอนกรีตในหนึ่งหน่วยลูกบาศก์เมตร

Superimposed dead load เป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติมจากน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน โดยคิดเป็นน้ำหนักแบบแผ่กระจาย เช่น น้ำหนักของวัสดุผิวจราจร น้ำหนักของขอบทางทำน้ำหนักราวสะพาน เป็นต้น

- Live Load น้ำหนักบรรทุกจร

No. of traffic lanes จำนวนช่องจราจรบนสะพาน

Class of loading กำหนดชนิดของน้ำหนักบรรทุกมาตรฐานตามข้อกำหนดของ AASHTO

Lane loading เป็นน้ำหนักบรรทุกเทียบเท่าซึ่งประกอบด้วยน้ำหนักที่กระทำต่อสะพานดังนี้

Concentrated load for moment น้ำหนักบรรทุกทุกแบบเป็นจุดที่กระทำในหนึ่งช่องจราจร สำหรับวิเคราะห์โมเมนต์คัต

Concentrated load for shear น้ำหนักบรรทุกทุกแบบเป็นจุดที่กระทำในหนึ่งช่องจราจร สำหรับวิเคราะห์แรงเฉือน

Uniformly distributed load น้ำหนักบรรทุกทุกแบบแผ่กระจายที่กระทำในหนึ่งช่องจราจร

Ratio of concentrated load for moment (construction stage) อัตราส่วนเพื่อปรับแก้ น้ำหนักบรรทุกทุกแบบจุดที่กระทำในหนึ่งช่องจราจรในขั้นตอนการก่อสร้าง

Ratio of uniformly distributed load (construction stage) อัตราส่วนเพื่อปรับแก้ น้ำหนักบรรทุกทุกแบบแผ่กระจายที่กระทำในหนึ่งช่องจราจรในขั้นตอนการก่อสร้าง

- Truck loading เป็นน้ำหนักบรรทุกทุกคันที่กระทำต่อสะพาน ประกอบด้วยน้ำหนักกระทำแบบจุดซึ่งเป็นน้ำหนักของเพลาดังนี้

Front axle น้ำหนักของเพลาด้านหน้า

Middle axle น้ำหนักของเพลากลาง

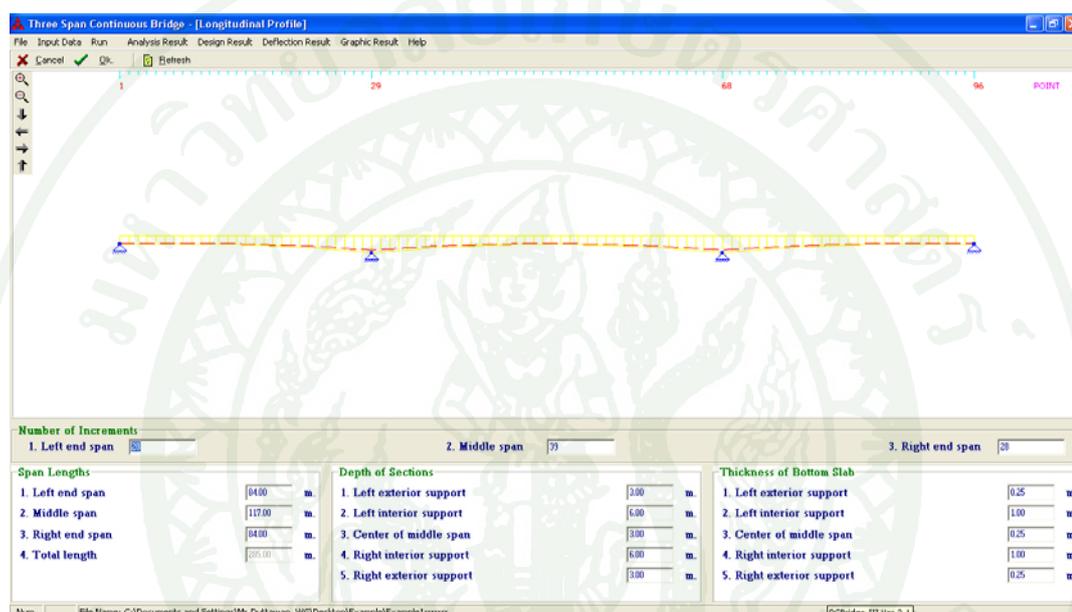
Rear axle น้ำหนักของเพลาด้านหลัง

Axle spacing (front-middle) ระยะห่างระหว่างเพลาด้านหน้าและเพลากลาง

Axle spacing (middle-rear) ระยะห่างระหว่างเพลากลางและเพลาด้านหลัง

2. ความยาวของช่วงสะพานและความลึกของสะพาน (Geometrical Data)

ใช้สำหรับกำหนดความยาวและจำนวนชิ้นส่วนย่อยในแต่ละช่วงสะพาน นอกจากนี้ยังใช้กำหนดความลึกและความหนาของพื้นที่รองรับของหน้าตัดสะพานที่ต่อมอปลายสะพาน ต่อมอกลางสะพานและที่กึ่งกลางสะพานช่วงกลาง ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การกำหนดลักษณะของสะพานตามยาว

- Number of Increments จำนวนชิ้นส่วนย่อยของสะพานในแต่ละช่วง
 - Left span จำนวนชิ้นส่วนย่อยของสะพานช่วงริมซ้าย
 - Middle span จำนวนชิ้นส่วนย่อยของสะพานช่วงกลาง
 - Right span จำนวนชิ้นส่วนย่อยของสะพานช่วงริมขวา
- Span Lengths ความยาวของสะพานในแต่ละช่วง
 - Left end span ความยาวของสะพานช่วงริมซ้าย
 - Middle span ความยาวของสะพานช่วงกลาง
 - Right end span ความยาวของสะพานช่วงริมขวา

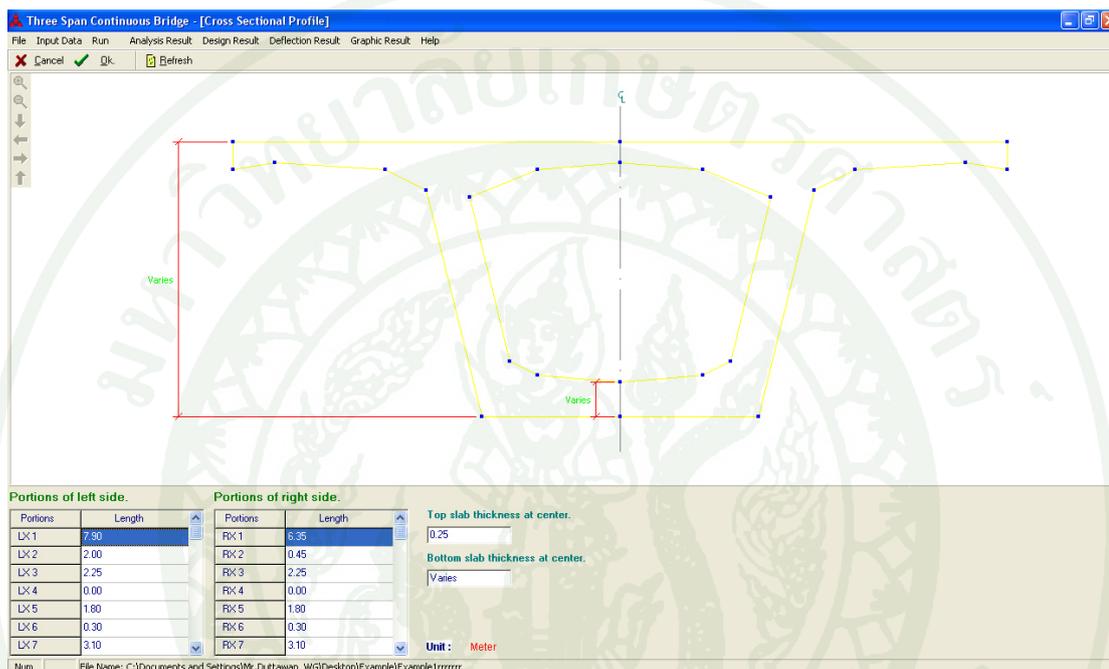
Total Length ความยาวรวมของสะพานทั้งสามช่วง

- Depth of Section ความลึกของหน้าตัดสะพานที่ตำแหน่งต่างๆ
 - Left exterior support ความลึกของหน้าตัดสะพานที่ฐานรองรับภายนอกด้านซ้าย
 - Left interior support ความลึกของหน้าตัดสะพานที่ฐานรองรับภายในด้านซ้าย
 - Center of middle span ความลึกของหน้าตัดสะพานที่จุดกึ่งกลางของสะพานช่วงกลาง
 - Right interior support ความลึกของหน้าตัดสะพานที่ฐานรองรับภายในด้านขวา
 - Right exterior support ความลึกของหน้าตัดสะพานที่ฐานรองรับภายนอกด้านขวา

- Thickness of Bottom Slab ความหนาของพื้นท้องคานที่ตำแหน่งต่างๆ
 - Left exterior support ความหนาของพื้นท้องคานที่ฐานรองรับภายนอกด้านซ้าย
 - Left interior support ความหนาของพื้นท้องคานที่ฐานรองรับภายในด้านซ้าย
 - Center of middle span ความหนาของพื้นท้องคานที่จุดกึ่งกลางของสะพานช่วงกลาง
 - Right interior support ความหนาของพื้นท้องคานที่ฐานรองรับภายในด้านขวา
 - Right exterior support ความหนาของพื้นท้องคานที่ฐานรองรับภายนอกด้านขวา

3. รูปร่างและขนาดของหน้าตัดสะพาน (Cross Section Data)

ใช้สำหรับกำหนดรูปร่างและขนาดหน้าตัดคานสะพานในแต่ละชั้นส่วนย่อย ดังแสดงในภาพที่ 13 และ 14 และตารางที่ 7

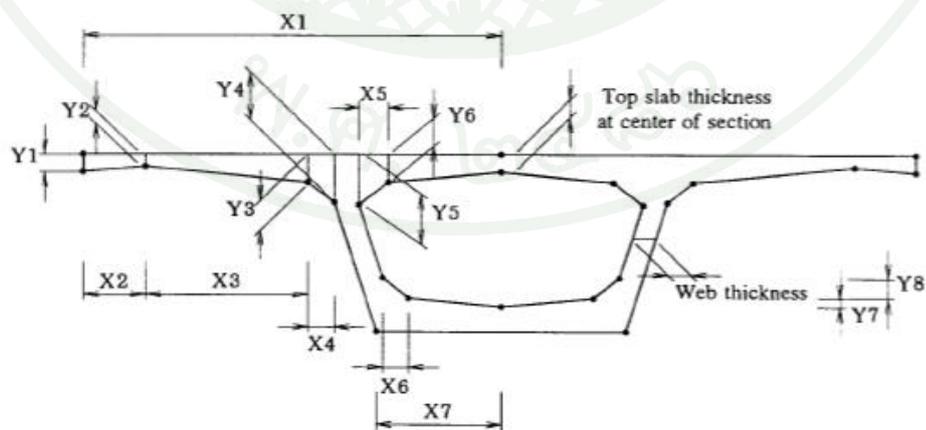


ภาพที่ 13 การกำหนดรูปร่างของหน้าตัดคานสะพานคอนกรีตอัดแรง

ตารางที่ 7 การกำหนดขนาดของหน้าตัดแกนสะพานคอนกรีตอัดแรง

Top slab thickness at center of section 0.25 m.

Portions	Left Side	Right Side
X1	7.90 m.	6.35 m.
X2	2.00 m.	0.45 m.
X3	2.25 m.	2.25 m.
X4	0.00 m.	0.00 m.
X5	1.80 m.	1.80 m.
X6	0.30 m.	0.30 m.
X7	3.10 m.	3.10 m.
Y1	0.17 m.	0.20 m.
Y2	0.20 m.	0.20 m.
Y3	0.50 m.	0.50 m.
Y4	0.50 m.	0.50 m.
Y5	0.50 m.	0.50 m.
Y6	0.25 m.	0.25 m.
Y7	0.00 m.	0.00 m.
Y8	0.10 m.	0.10 m.
Web Thk.	0.50 m.	0.50 m.



ภาพที่ 14 ขนาดหน้าตัดของสะพานคอนกรีตอัดแรง

4. ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรง (Prestressing Data)

ประกอบด้วยข้อมูลสำหรับการออกแบบลวดอัดแรง หน่วยแรงที่ยอมให้และคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตและลวดอัดแรง และข้อมูลสำหรับออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ดังแสดงในภาพที่ 15 – 19

4.1 General Data เป็นข้อมูลทั่วไปสำหรับการออกแบบลวดอัดแรง ดังนี้

Parameter	Value	Unit
Top tendons	10.00	cm.
Bottom tendons	10.00	cm.
Age of segment at time of prestressing	7.00	days.
Segment construction time	14.00	days.
At left pier	1	segments.
At right pier	1	segments.
Top slab	60	nos.
Bottom slab	28	nos.

ภาพที่ 15 การกำหนดข้อมูลทั่วไปสำหรับการออกแบบลวดอัดแรง

- Covering to c.g. of tendons ระยะหุ้มคอนกรีตจากผิวนอกสุดของหน้าตัดถึงจุดศูนย์กลางของกลุ่มลวดอัดแรง

Top tendons ระยะหุ้มคอนกรีตที่ผิวบนของหน้าตัด

Bottom tendons ระยะหุ้มคอนกรีตที่ผิวล่างของหน้าตัด

- Age of segment at time of prestressing อายุของคอนกรีตในขณะที่ลวดอัดแรง

- Segment construction time ช่วงเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างชิ้นส่วนคอนกรีตแต่ละชิ้น

โดยประมาณโดยใช้เวลาในการก่อสร้างแต่ละชิ้นเท่ากัน

- No. of segments before first prestressing จำนวนชิ้นส่วนคอนกรีตที่ก่อสร้างขึ้นออกจากตอม่อโดยไม่ต้องเสริมลวดอัดแรงในขณะก่อสร้างคานปลายยื่นสองด้าน
 - At left pier ที่ตอม่อกลางสะพานทางฝั่งซ้าย
 - At right pier ที่ตอม่อกลางสะพานทางฝั่งขวา
- Maximum number of tendons จำนวนกลุ่มลวดอัดแรงที่สามารถเสริมได้มากที่สุดบนหน้าตัด
 - Top slab ที่พื้นสะพานส่วนบน
 - Bottom slab ที่พื้นที่องคาน

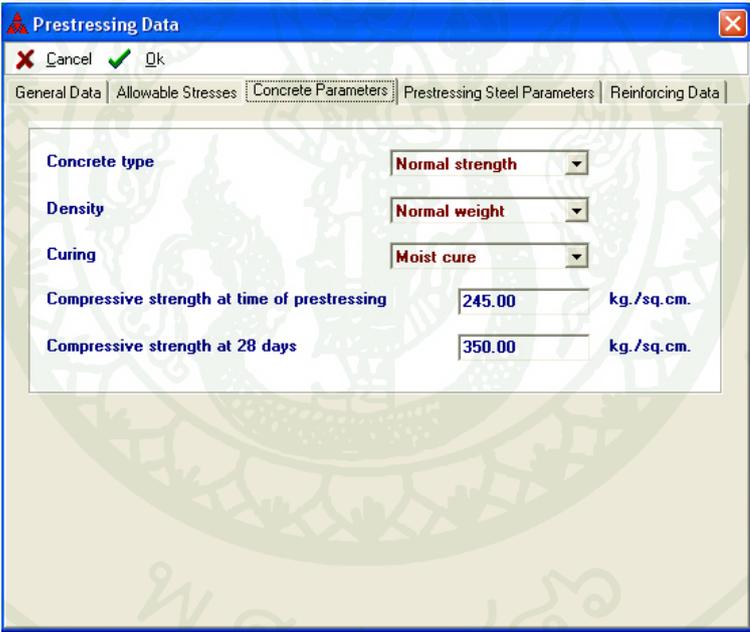
4.2 Allowable Stress กำหนดหน่วยแรงอัดและหน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรง ดังนี้

Concrete		
Compressive stress at transfer	134.75	kg./sq.cm.
Tensile stress at transfer	0.00	kg./sq.cm.
Compressive stress at service	140.00	kg./sq.cm.
Tensile stress at service	0.00	kg./sq.cm.

ภาพที่ 16 การกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรง

- Compressive stress at transfer หน่วยแรงอัดที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรงในขณะถ่ายแรง
- Tensile stress at transfer หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรงในขณะถ่ายแรง
- Compressive stress at service หน่วยแรงอัดที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรงในขณะใช้งาน
- Tensile stress at service หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรงในขณะใช้งาน

4.3 Concrete Parameters กำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีต ดังนี้



Parameter	Value	Unit
Concrete type	Normal strength	
Density	Normal weight	
Curing	Moist cure	
Compressive strength at time of prestressing	245.00	kg./sq.cm.
Compressive strength at 28 days	350.00	kg./sq.cm.

ภาพที่ 17 การกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีต

- Concrete type กำหนดคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสำหรับคานสะพาน โดยสามารถเลือกกำหนดได้ 2 ชนิด คือ

Normal strength สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดปกติ

High early strength สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดเร็ว

- Density กำหนดคุณสมบัติด้านความหนาแน่นของคอนกรีต โดยสามารถเลือกกำหนดได้ 2 ชนิด คือ

Normal weight สำหรับคอนกรีตปกติ

Lightweight สำหรับคอนกรีตมวลเบา

- Curing กำหนดลักษณะการบ่มคอนกรีต โดยสามารถเลือกกำหนดได้ 2 ชนิดคือ

Moist cure สำหรับการบ่มด้วยความชื้น

Accelerated cure สำหรับการบ่มด้วยไอน้ำ

- Compressive strength at time of prestressing กำหนดกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตในขณะที่ตั้งลวดอัดแรง

- Compressive strength at 28 days กำหนดกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อมีอายุ 28 วันขึ้นไป

4.4 Prestressing Steel Parameters กำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของลวดอัดแรง ดังนี้

Prestressing Data		
Prestressing Steel Parameters		
Prestress steel type	Low-relaxation steel	
Modulus of elasticity	1970000.00	kg./sq.cm.
Number of strands per tendon	12	
Grade of PC. strand	270K	
Dia. of PC. strand	12.70	mm.
Sectional area per strand	0.9870	sq.cm.
Ultimate tensile strength per strand	18730.00	kg.
Initial prestressing force		
in percent of ultimate tensile strength	70.00	%
Anchorage seating	0.30	cm.
Wobble coefficient	0.0040	/m.
Curvature coefficient	0.20	/radian

ภาพที่ 18 การกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของลวดอัดแรง

- Prestress steel type กำหนดชนิดของลวดอัดแรง โดยสามารถเลือกกำหนดได้ 2 ชนิด คือ
 Low-relaxation steel เป็นลวดอัดแรงชนิดคลายแรงดึงต่ำ
 Stress-relieved steel เป็นลวดอัดแรงชนิดคลายหน่วยแรง
- Modulus of elasticity กำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของลวดอัดแรง
- Number of strands per tendon กำหนดจำนวนลวดอัดแรงที่อยู่ในกลุ่มลวดอัดแรง
- Grade of PC. strand กำหนดเกรดของลวดอัดแรง
- Dia. Of PC. strand กำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดอัดแรง
- Sectional area per strand กำหนดพื้นที่หน้าตัดของลวดอัดแรงหนึ่งเส้น
- Ultimate tensile strength per strand กำหนดแรงดึงประลัยสำหรับลวดอัดแรงหนึ่งเส้น
- Initial prestressing force in percent of ultimate tensile strength กำหนดแรงดึงเริ่มต้นสำหรับการดึงลวดอัดแรง โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดึงประลัยสำหรับลวดอัดแรงหนึ่งเส้น
- Anchorage seating กำหนดระยะเคลื่อนที่ของสมอยึด
- Wobble coefficient กำหนดสัมประสิทธิ์ความคดของลวดอัดแรง
- Curvature coefficient กำหนดสัมประสิทธิ์ความเด้งของลวดอัดแรง

4.5 Shear Parameters กำหนดข้อมูลสำหรับการออกแบบหน้าตัดรับแรงเฉือน

ภาพที่ 19 การกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

- Shear reinforcement กำหนดคุณสมบัติของเหล็กเสริมไม่อัดแรงรับแรงเฉือน ดังนี้
 - Yield strength กำลังดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม
 - Steel bar diameter ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม
 - Steel type กำหนดชนิดของเหล็กเสริม โดยสามารถเลือกได้ 2 ชนิดคือ เหล็กข้ออ้อย (deformed bar) และเหล็กกลม (round bar)
- Load factor กำหนดค่าตัวคูณเพิ่มสำหรับน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างสะพานดังนี้
 - Dead load สำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่
 - Live load สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร
 - Impact load สำหรับแรงกระแทกเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร
- Shear capacity reduction factor ตัวคูณลดกำลังสำหรับการออกแบบหน้าตัดรับแรงเฉือน

5. การวิเคราะห์โมเมนต์ตัด แรงเฉือนบนหน้าตัดสะพาน แรงปฏิกิริยาในตอม่อสะพานและการออกแบบหน้าตัดสะพาน

ประกอบด้วยการแสดงผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การกระจายโมเมนต์ เส้นอิทธิพล สำหรับโมเมนต์ตัด แรงเฉือนและแรงปฏิกิริยา ตลอดจน ไดอะแกรมของโมเมนต์ตัดและแรงเฉือนที่หน้าตัดต่างๆ ของกานสะพาน เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกตามมาตรฐาน AASHTO ทั้งในลักษณะของตารางและแผนภาพ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลการออกแบบหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรงในรูปแบบตารางและแผนภาพ ดังแสดงในภาพที่ 20 – 46

5.1 การแสดงผลการวิเคราะห์สามารถเรียกได้จากเมนูหลัก Analysis Result โดยแยกผลการวิเคราะห์ออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

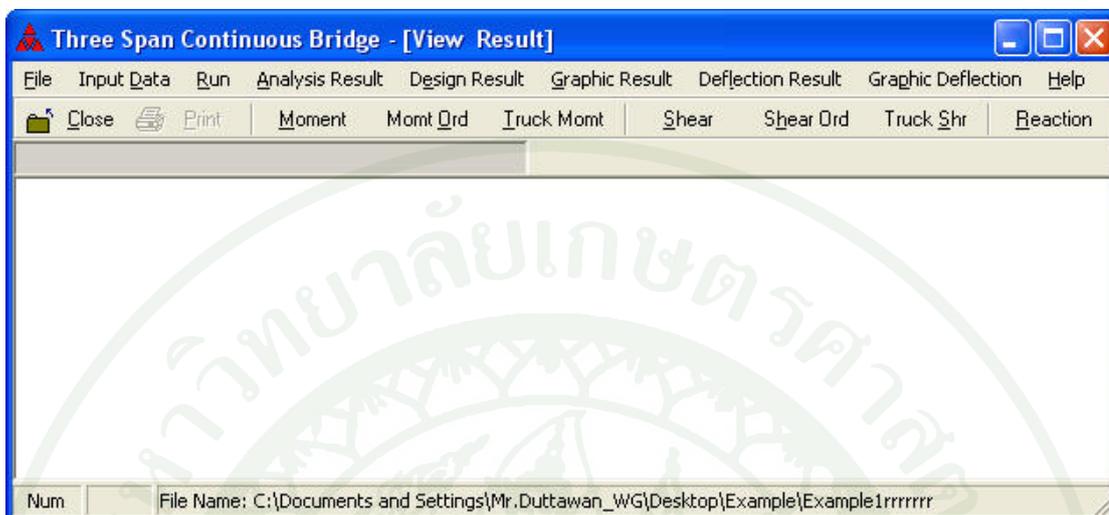
Distribution Parameter แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายโมเมนต์ ดังนี้

Moment Distribution Parameters	
1. Carry Over Factor from left to right of middle span	0.724
2. Carry Over Factor from right to left of middle span	0.724
3. Stiffness Factor at right support of left end span	1.052
4. Stiffness Factor at left support of middle span	1.046
5. Stiffness Factor at right support of middle span	1.046
6. Stiffness Factor at left support of right end span	1.071
7. Moment Factor at right support of left end span	1.680
8. Moment Factor at left support of middle span	1.357
9. Moment Factor at right support of middle span	1.357
10. Moment Factor at left support of right end span	1.677

ภาพที่ 20 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายโมเมนต์

1. Carry Over Factor from left to right of middle span แสดงค่าตัวประกอบนำข้ามจากฐานรองรับทางด้านซ้ายมายังฐานรองรับทางด้านขวาของสะพานช่วงกลาง
2. Carry Over Factor from right to left of middle span แสดงค่าตัวประกอบนำข้ามจากฐานรองรับทางด้านขวามายังฐานรองรับทางด้านซ้ายของสะพานช่วงกลาง
3. Stiffness Factor at right support of left end span แสดงค่าตัวประกอบความแข็งเกร็งแรงคัตที่ฐานรองรับทางด้านขวาของสะพานช่วงริมซ้าย
4. Stiffness Factor at left support of middle span แสดงค่าตัวประกอบความแข็งเกร็งแรงคัตที่ฐานรองรับทางด้านซ้ายของสะพานช่วงกลาง
5. Stiffness Factor at right support of middle span แสดงค่าตัวประกอบความแข็งเกร็งแรงคัตที่ฐานรองรับทางด้านขวาของสะพานช่วงกลาง
6. Stiffness Factor at left support of right end span แสดงค่าตัวประกอบความแข็งเกร็งแรงคัตที่ฐานรองรับทางด้านซ้ายของสะพานช่วงริมขวา
7. Moment Factor at right support of left end span แสดงค่าตัวประกอบโมเมนต์คัตที่ฐานรองรับทางด้านขวาของสะพานช่วงริมซ้าย
8. Moment Factor at left support of middle span แสดงค่าตัวประกอบโมเมนต์คัตที่ฐานรองรับทางด้านซ้ายของสะพานช่วงกลาง
9. Moment Factor at right support of middle span แสดงค่าตัวประกอบโมเมนต์คัตที่ฐานรองรับทางด้านขวาของสะพานช่วงกลาง
10. Moment Factor at left support of right end span แสดงค่าตัวประกอบโมเมนต์คัตที่ฐานรองรับทางด้านซ้ายของสะพานช่วงริมขวา

Influence Coordinate แสดงค่าพิกัดของเส้นอิทธิพล โดยแยกการแสดงผลของค่าต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 21 ค่าพิกัดของเส้นอิทธิพล

- Moment แสดงค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับ โมเมนต์คัต ดังแสดงในภาพที่ 22
- Momt Ord แสดงผลรวมของค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับ โมเมนต์คัตที่เป็นค่าบวกและค่าลบ ตลอดจนค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ดังแสดงในภาพที่ 23
- Truck Momt แสดงค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับ โมเมนต์คัตสูงสุดและต่ำสุดที่ตำแหน่งจุดแบ่งต่างๆ ตามตำแหน่งของเพลารถบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO ดังแสดงในภาพที่ 24
- Shear แสดงค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือน ดังแสดงในภาพที่ 25
- Shear Ord แสดงผลรวมของค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือนที่เป็นค่าบวกและค่าลบ ตลอดจนค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ดังแสดงในภาพที่ 26
- Truck Shr แสดงค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือนสูงสุดและต่ำสุดที่ตำแหน่งจุดแบ่งต่างๆ ตามตำแหน่งของเพลารถบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO ดังแสดงในภาพที่ 27
- Reaction แสดงค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ดังแสดงในภาพที่ 28

MOMENT INFLUENCE TABLE FROM CANTILEVER BEAM STAGE
(LEFT SIDE)

UNIT LOAD AT		MOMENT AT STATION						
POINT	STATION	0.00	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00
26	0.00	0.000	-3.000	-6.000	-9.000	0.000	0.000	0.000
27	3.00	0.000	0.000	-3.000	-6.000	0.000	0.000	0.000
28	6.00	0.000	0.000	0.000	-3.000	0.000	0.000	0.000
29	9.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30	12.00	0.000	0.000	0.000	-3.000	0.000	0.000	0.000
31	15.00	0.000	0.000	0.000	-6.000	-3.000	0.000	0.000
32	18.00	0.000	0.000	0.000	-9.000	-6.000	-3.000	0.000

ภาพที่ 22 ค่าพิักของเส้นอิทธิพลสำหรับโมเมนต์คัตในชั้นตอนคานปลายยื่นสมดุลสองด้าน

MOMENT INFLUENCE ORDINATE DATA FROM CANTILEVER BEAM STAGE
(LEFT SIDE)

POINT	STATION	SUMMATION OF INFLUENCE ORDINATES			MAXIMUM ORDINATES	
		POSITIVE	NEGATIVE	SUMMATION	POSITIVE	NEGATIVE
		26	0.00	0.000	0.000	0.000
27	3.00	0.000	-4.500	-4.500	0.000	-3.000
28	6.00	0.000	-18.000	-18.000	0.000	-6.000
29	9.00	0.000	-40.500	-40.500	0.000	-9.000
29	9.00	0.000	-40.500	-40.500	0.000	-9.000
30	12.00	0.000	-18.000	-18.000	0.000	-6.000
31	15.00	0.000	-4.500	-4.500	0.000	-3.000
32	18.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ภาพที่ 23 ผลรวมของค่าพิักของเส้นอิทธิพลสำหรับโมเมนต์คัตที่เป็นค่าบวกและค่าลบ ตลอดจนค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ในชั้นตอนคานปลายยื่นสมดุลสองด้าน

GIRDER MOMENTS TRUCK LOADING FROM CANTILEVER BEAM STAGE
[AASHTO-STANDARD HS20-44]

(LEFT SIDE)

NO. OF SEGMENT CANTILEVERED = 3 UNITS: METER / UNIT LOAD

POINT	STATION	3.64 TONS. AXLE (F)		14.54 TONS. AXLE (M)		14.54 TONS. AXLE (R)	
		[+]	[-]	[+]	[-]	[+]	[-]
26	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27	3.00	0.000	0.000	0.000	-3.000	0.000	0.000
28	6.00	0.000	0.000	0.000	-1.730	0.000	-6.000
29	9.00	0.000	-0.460	0.000	-4.730	0.000	-9.000
29	9.00	0.000	-0.460	0.000	-4.730	0.000	-9.000
30	12.00	0.000	0.000	0.000	-6.000	0.000	-1.730
31	15.00	0.000	0.000	0.000	-3.000	0.000	0.000
32	18.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ภาพที่ 24 ค่าพิงคของเส้นอิทธิพลสำหรับโมเมนต์ดัดสูงสุดและต่ำสุดที่ตำแหน่งจุดแบ่งต่างๆ ตามตำแหน่งของเพลารถบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO ในขั้นตอนคานปลายยื่น สมดุลสองด้าน

SHEAR INFLUENCE TABLE FROM CANTILEVER BEAM STAGE
(LEFT SIDE)

NO. OF SEGMENT CANTILEVERED = 3 UNITS: METER / UNIT LOAD

POINT	STATION	SHEAR AT STATION							
		0.00	3.00	6.00	9.00	9.00	12.00	15.00	18.00
26	0.00	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27	3.00	0.000	-1.000	-1.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
28	6.00	0.000	0.000	-1.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	9.00	0.000	0.000	0.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30	12.00	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
31	15.00	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000
32	18.00	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000

ภาพที่ 25 ค่าพิงคของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือน ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมดุลสองด้าน

SHEAR INFLUENCE ORDINATE DATA FROM CANTILEVER BEAM STAGE
(LEFT SIDE)

NO. OF SEGMENT CANTILEVERED = 3		UNITS: METER / UNIT LOAD				
POINT	STATION	SUMMATION OF INFLUENCE ORDINATES			MAXIMUM ORDINATES	
		POSITIVE	NEGATIVE	SUMMATION	POSITIVE	NEGATIVE
26	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.000
27	3.00	0.000	-3.000	-3.000	0.000	-1.000
28	6.00	0.000	-6.000	-6.000	0.000	-1.000
29	9.00	0.000	-9.000	-9.000	0.000	-1.000
29	9.00	9.000	0.000	9.000	1.000	0.000
30	12.00	6.000	0.000	6.000	1.000	0.000
31	15.00	3.000	0.000	3.000	1.000	0.000
32	18.00	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000

ภาพที่ 26 ผลรวมของค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือนที่เป็นค่าบวกและค่าลบ ตลอดจนค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ในชั้นตอนคานปลายยื่นสมมูลสองคาน

GIRDER SHEARS TRUCK LOADING FROM CANTILEVER BEAM STAGE
[AASHTO-STANDARD HS20-44]

NO. OF SEGMENT CANTILEVERED = 3		(LEFT SIDE)					
		UNITS: METER / UNIT LOAD					
POINT	STATION	3.64 TONS. AXLE (F)		14.54 TONS. AXLE (M)		14.54 TONS. AXLE (R)	
		[+]	[-]	[+]	[-]	[+]	[-]
26	0.00	0.000	0.000	0.000	-1.000	0.000	0.000
27	3.00	0.000	0.000	0.000	-1.000	0.000	0.000
28	6.00	0.000	0.000	0.000	-1.000	0.000	-1.000
29	9.00	0.000	-1.000	0.000	-1.000	0.000	-1.000
29	9.00	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000
30	12.00	0.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000
31	15.00	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000
32	18.00	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

ภาพที่ 27 ค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือนสูงสุดและต่ำสุดที่ตำแหน่งจุดแบ่งต่างๆ ตามตำแหน่งของเพลารถบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO ในชั้นตอนคานปลายยื่นสมมูลสองคาน

SUPPORT REACTION INFLUENCE TABLE FROM CONTINUOUS BEAM STAGE

UNITS: METER / UNIT LOAD

UNIT LOAD AT		SUPPORT REACTION INFLUENCE ORDINATES			
POINT	STATION	REACTION(A)	REACTION(B)	REACTION(C)	REACTION(D)
1	0.00	1.000	0.000	0.000	0.000
2	3.00	0.952	0.062	-0.020	0.006
3	6.00	0.904	0.123	-0.039	0.012
4	9.00	0.856	0.184	-0.058	0.018
5	12.00	0.808	0.244	-0.077	0.024
6	15.00	0.761	0.304	-0.095	0.030
7	18.00	0.714	0.363	-0.113	0.036
8	21.00	0.668	0.420	-0.129	0.041
9	24.00	0.623	0.476	-0.144	0.046
10	27.00	0.578	0.530	-0.159	0.050
11	30.00	0.534	0.583	-0.171	0.054
12	33.00	0.491	0.634	-0.183	0.058
13	36.00	0.449	0.682	-0.193	0.061
14	39.00	0.409	0.728	-0.200	0.064
15	42.00	0.369	0.772	-0.206	0.065
16	45.00	0.331	0.813	-0.210	0.067
17	48.00	0.294	0.850	-0.212	0.067
18	51.00	0.259	0.885	-0.211	0.067
19	54.00	0.225	0.916	-0.208	0.066
20	57.00	0.194	0.944	-0.202	0.064
21	60.00	0.164	0.968	-0.193	0.061
22	63.00	0.135	0.988	-0.181	0.057
23	66.00	0.109	1.004	-0.165	0.052
24	69.00	0.085	1.015	-0.147	0.047
25	72.00	0.063	1.022	-0.125	0.040
26	75.00	0.044	1.024	-0.100	0.032
27	78.00	0.027	1.021	-0.070	0.022
28	81.00	0.012	1.013	-0.037	0.012
29	84.00	0.000	1.000	0.000	0.000
30	87.00	-0.027	1.014	0.024	-0.010
31	90.00	-0.052	1.023	0.050	-0.021
32	93.00	-0.074	1.028	0.078	-0.032
33	96.00	-0.095	1.030	0.108	-0.043
34	99.00	-0.113	1.027	0.140	-0.054
35	102.00	-0.129	1.021	0.174	-0.066
36	105.00	-0.144	1.012	0.208	-0.077
37	108.00	-0.156	1.000	0.244	-0.088
38	111.00	-0.167	0.984	0.282	-0.099
39	114.00	-0.175	0.966	0.320	-0.110
40	117.00	-0.183	0.945	0.358	-0.121
41	120.00	-0.188	0.922	0.397	-0.131
42	123.00	-0.192	0.896	0.437	-0.141
43	126.00	-0.195	0.868	0.477	-0.150
44	129.00	-0.196	0.838	0.516	-0.159
45	132.00	-0.196	0.807	0.556	-0.167
46	135.00	-0.195	0.774	0.595	-0.174
47	138.00	-0.192	0.739	0.633	-0.180
48	141.00	-0.188	0.703	0.671	-0.186
49	144.00	-0.184	0.666	0.708	-0.190
50	147.00	-0.178	0.629	0.744	-0.194
51	150.00	-0.172	0.590	0.778	-0.197
52	153.00	-0.165	0.551	0.811	-0.198
53	156.00	-0.157	0.512	0.843	-0.198
54	159.00	-0.148	0.472	0.873	-0.197
55	162.00	-0.139	0.433	0.900	-0.194
56	165.00	-0.129	0.393	0.926	-0.190
57	168.00	-0.119	0.354	0.949	-0.184
58	171.00	-0.109	0.316	0.970	-0.177

ภาพที่ 28 ค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับของคานต่อเนื่องสามช่วง

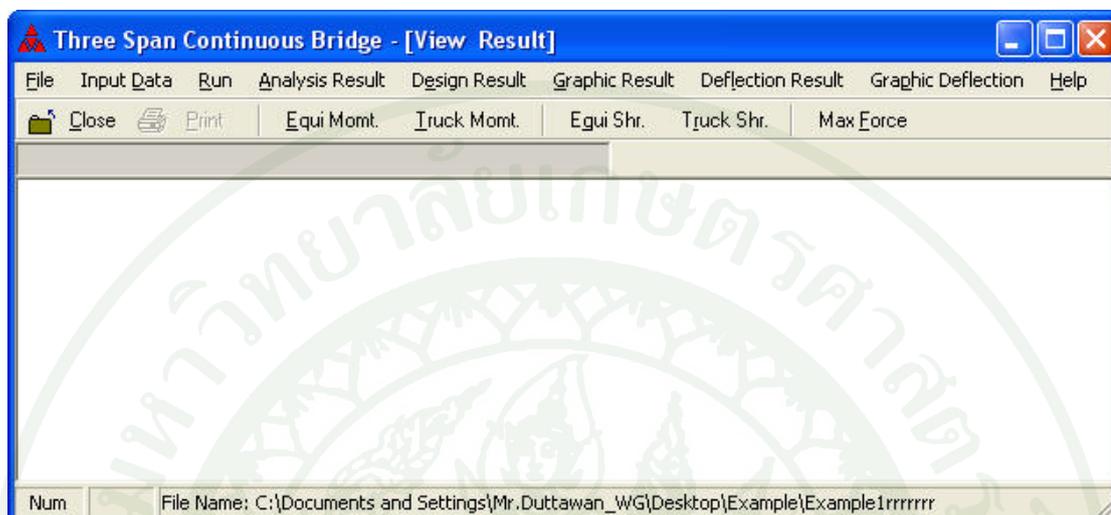
SUPPORT REACTION INFLUENCE TABLE FROM CONTINUOUS BEAM STAGE

UNITS: METER / UNIT LOAD

UNIT LOAD AT		SUPPORT REACTION INFLUENCE ORDINATES			
POINT	STATION	REACTION(A)	REACTION(B)	REACTION(C)	REACTION(D)
59	174.00	-0.098	0.278	0.988	-0.168
60	177.00	-0.087	0.241	1.003	-0.157
61	180.00	-0.076	0.206	1.015	-0.145
62	183.00	-0.065	0.171	1.024	-0.131
63	186.00	-0.053	0.138	1.030	-0.114
64	189.00	-0.042	0.106	1.032	-0.096
65	192.00	-0.031	0.077	1.030	-0.075
66	195.00	-0.021	0.049	1.024	-0.052
67	198.00	-0.010	0.023	1.014	-0.027
68	201.00	0.000	0.000	1.000	0.000
69	204.00	0.012	-0.037	1.013	0.012
70	207.00	0.022	-0.069	1.020	0.027
71	210.00	0.031	-0.098	1.022	0.045
72	213.00	0.039	-0.123	1.020	0.065
73	216.00	0.046	-0.145	1.012	0.087
74	219.00	0.051	-0.163	1.001	0.111
75	222.00	0.056	-0.178	0.984	0.137
76	225.00	0.060	-0.189	0.964	0.165
77	228.00	0.063	-0.198	0.940	0.195
78	231.00	0.065	-0.204	0.912	0.227
79	234.00	0.066	-0.207	0.881	0.261
80	237.00	0.066	-0.208	0.846	0.296
81	240.00	0.065	-0.207	0.809	0.333
82	243.00	0.064	-0.203	0.768	0.371
83	246.00	0.062	-0.197	0.724	0.410
84	249.00	0.060	-0.189	0.679	0.451
85	252.00	0.057	-0.180	0.630	0.493
86	255.00	0.053	-0.169	0.580	0.536
87	258.00	0.049	-0.156	0.527	0.579
88	261.00	0.045	-0.142	0.473	0.624
89	264.00	0.040	-0.127	0.417	0.669
90	267.00	0.035	-0.111	0.360	0.715
91	270.00	0.030	-0.094	0.302	0.762
92	273.00	0.024	-0.076	0.243	0.809
93	276.00	0.018	-0.057	0.183	0.856
94	279.00	0.012	-0.038	0.122	0.904
95	282.00	0.006	-0.019	0.061	0.952
96	285.00	0.000	0.000	0.000	1.000

ภาพที่ 28 (ต่อ)

Member Force แสดงค่าพิกัดของโมเมนต์คัตและแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO ดังนี้



ภาพที่ 29 ค่าพิกัดของโมเมนต์คัตและแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO

- Equi Momt แสดงค่าของโมเมนต์คัตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกแผ่เทียบเท่า (equivalent lane loading) ดังแสดงในภาพที่ 30
- Truck Momt แสดงค่าของโมเมนต์คัตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก (truck loading) ดังแสดงในภาพที่ 31
- Equi Shr แสดงค่าของแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกแผ่เทียบเท่า (equivalent lane loading) ดังแสดงในภาพที่ 32
- Truck Shr แสดงค่าของแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก (truck loading) ดังแสดงในภาพที่ 33
- Max Force แสดงค่าผลรวมของโมเมนต์คัตและแรงเฉือนสูงสุด เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกแผ่เทียบเท่าและน้ำหนักบรรทุก ดังแสดงในภาพที่ 34

GIRDER MOMENTS EQUIVALENT LANE LOADING FROM LEFT CANTILEVER BEAM STAGE
[AASHTO-STANDARD HS20-44]

NO. OF SEGMENT CANTILEVERED = 3 (LEFT SIDE)

POINT	DEAD LOAD MOMENT	LIVE LOAD MOMENT				TOTAL		IMPACT PERCENTAGE		IMPACT MOMENT		TOTAL MOMENT	
		UNIFORMLY DIST. LOAD	UNIFORMLY DIST. LOAD	CONCENTRATED LOAD	CONCENTRATED LOAD	+	-	+	-	+	-	+	-
T-M		+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	-144.54	0.00	-11.54	0.00	-66.18	0.00	-77.72	0.00	30.00	0.00	-23.32	-144.54	-245.58
28	-591.93	0.00	-46.17	0.00	-132.35	0.00	-178.52	0.00	30.00	0.00	-53.56	-591.93	-824.01
29	-1356.78	0.00	-103.88	0.00	-198.53	0.00	-302.41	0.00	30.00	0.00	-90.72	-1356.78	-1749.92
29	-1360.17	0.00	-103.88	0.00	-198.53	0.00	-302.41	0.00	30.00	0.00	-90.72	-1360.17	-1753.31
30	-593.69	0.00	-46.17	0.00	-132.35	0.00	-178.52	0.00	30.00	0.00	-53.56	-593.69	-825.77
31	-145.06	0.00	-11.54	0.00	-66.18	0.00	-77.72	0.00	30.00	0.00	-23.32	-145.06	-246.09
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ภาพที่ 30 โมเมนต์คัตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่เทียบเท่า (equivalent lane loading) ในชั้นตอนคานปลายยื่นสมมูลด้าน

GIRDER MOMENTS TRUCK LOADING FROM CANTILEVER BEAM STAGE
[AASHTO-STANDARD HS20-44]

NO. OF SEGMENT CANTILEVERED = 3 (LEFT SIDE)

POINT	DEAD LOAD MOMENT	SUMATION OF ORDINATES						LIVE LOAD MOMENT		IMPACT PERCENTAGE		IMPACT MOMENT		TOTAL MOMENT	
		3.64 T AXLE		14.54 T AXLE		14.54 T AXLE		+	-	+	-	+	-	+	-
		T-M	+	-	+	-	+								
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	-144.54	0.00	0.00	0.00	-3.00	0.00	0.00	0.00	-117.77	0.00	30.00	0.00	-35.33	-144.54	-297.65
28	-591.93	0.00	0.00	0.00	-1.73	0.00	-6.00	0.00	-303.46	0.00	30.00	0.00	-91.04	-591.93	-986.43
29	-1356.78	0.00	-0.46	0.00	-4.73	0.00	-9.00	0.00	-543.53	0.00	30.00	0.00	-163.06	-1356.78	-2063.38
29	-1360.17	0.00	-0.46	0.00	-4.73	0.00	-9.00	0.00	-543.53	0.00	30.00	0.00	-163.06	-1360.17	-2066.76
30	-593.69	0.00	0.00	0.00	-6.00	0.00	-1.73	0.00	-303.46	0.00	30.00	0.00	-91.04	-593.69	-988.19
31	-145.06	0.00	0.00	0.00	-3.00	0.00	0.00	0.00	-117.77	0.00	30.00	0.00	-35.33	-145.06	-298.16
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ภาพที่ 31 โมเมนต์คัตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก (truck loading) ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมดุลด้าน

GIRDER SHEARS EQUIVALENT LANE LOADING FROM CANTILEVER BEAM STAGE
[AASHTO-STANDARD HS20-44]

NO. OF SEGMENT CANTILEVERED = 3 (LEFT SIDE)

POINT	DEAD LOAD SHEAR	LIVE LOAD SHEAR				TOTAL		IMPACT PERCENTAGE		IMPACT SHEAR		TOTAL SHEAR	
		UNIFORMLY DIST. LOAD	UNIFORMLY DIST. LOAD	CONCENTRATED LOAD	CONCENTRATED LOAD	+	-	+	-	+	-	+	-
	T	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
26	0.00	0.00	0.00	0.00	-31.86	0.00	-31.86	30.00	30.00	0.00	-9.56	0.00	-41.42
27	-98.66	0.00	-7.70	0.00	-31.86	0.00	-39.56	30.00	30.00	0.00	-11.87	-98.66	-150.08
28	-202.04	0.00	-15.39	0.00	-31.86	0.00	-47.25	30.00	30.00	0.00	-14.18	-202.04	-263.47
29	-310.44	0.00	-23.09	0.00	-31.86	0.00	-54.94	30.00	30.00	0.00	-16.48	-310.44	-381.86
29	310.98	23.09	0.00	31.86	0.00	54.94	0.00	30.00	30.00	16.48	0.00	382.41	310.98
30	202.52	15.39	0.00	31.86	0.00	47.25	0.00	30.00	30.00	14.18	0.00	263.94	202.52
31	98.95	7.70	0.00	31.86	0.00	39.56	0.00	30.00	30.00	11.87	0.00	150.37	98.95
32	0.00	0.00	0.00	31.86	0.00	31.86	0.00	30.00	30.00	9.56	0.00	41.42	0.00

ภาพที่ 32 แรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกแฉ่เทียบเท่า (equivalent lane loading) ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมดุลด้าน

GIRDER SHEARS TRUCK LOADING FROM CANTILEVER BEAM STAGE
[AASHTO-STANDARD HS20-44]

NO. OF SEGMENT CANTILEVERED = 3 (LEFT SIDE)

POINT	DEAD LOAD SHEAR	SUMATION OF ORDINATES						LIVE LOAD SHEAR	IMPACT		IMPACT SHEAR	TOTAL			
		3.64 T AXLE		14.54 T AXLE		14.54 T AXLE			PERCENTAGE			SHEAR			
		T		+	-	+	-		+	-		+	-		
26	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-39.26	30.00	30.00	0.00	-11.78	0.00	-51.04
27	-98.66	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-39.26	30.00	30.00	0.00	-11.78	-98.66	-149.69
28	-202.04	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.00	0.00	-78.52	30.00	30.00	0.00	-23.55	-202.04	-304.11
29	-310.44	0.00	-1.00	0.00	-1.00	0.00	-1.00	0.00	-88.34	30.00	30.00	0.00	-26.50	-310.44	-425.28
29	310.98	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	88.34	0.00	30.00	30.00	26.50	0.00	425.83	310.98
30	202.52	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	78.52	0.00	30.00	30.00	23.55	0.00	304.59	202.52
31	98.95	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	39.26	0.00	30.00	30.00	11.78	0.00	149.98	98.95
32	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	39.26	0.00	30.00	30.00	11.78	0.00	51.04	0.00

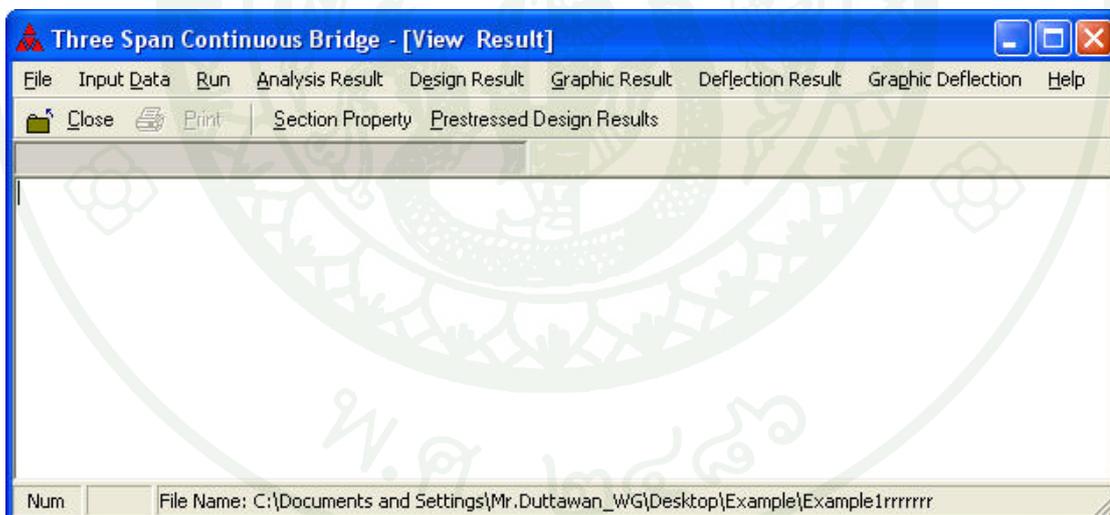
ภาพที่ 33 แรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก (truck loading) ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมดุล

MAXIMUM MOMENTS AND SHEARS FROM CANTILEVER BEAM STAGE
(LEFT SIDE)

NO. OF SEGMENT CANTILEVERED =		UNITS: METER / TONS					
POINT	STATION	DEAD LOAD MOMENT	TOTAL MOMENTS		DEAD LOAD SHEAR	TOTAL SHEARS	
			+	-		+	-
26	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-51.04
27	3.000	-144.54	0.00	-297.65	-98.66	0.00	-150.08
28	6.000	-591.93	0.00	-986.43	-202.04	0.00	-304.11
29	9.000	-1356.78	0.00	-2063.38	-310.44	0.00	-425.28
29	9.000	-1360.17	0.00	-2066.76	310.98	425.83	0.00
30	12.000	-593.69	0.00	-988.19	202.52	304.59	0.00
31	15.000	-145.06	0.00	-298.16	98.95	150.37	0.00
32	18.000	0.00	0.00	0.00	0.00	51.04	0.00

ภาพที่ 34 ผลรวมของโมเมนต์คัตและแรงเฉือนสูงสุด เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกแต่ละแท่งเทียบเท่า และน้ำหนักบรรทุกทุก ในขั้นตอนการคลายชิ้นสมมูลด้าน

5.2 การแสดงผลการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรงสามารถเรียกได้จากเมนูหลัก Design Result โดยแยกผลการออกแบบออกเป็นส่วนๆ ดังนี้



ภาพที่ 35 ผลการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรง

- Section Property แสดงค่าคุณสมบัติต่างๆ ของหน้าตัด ดังแสดงในภาพที่ 36 และ 37
- Prestressed Design Results แสดงค่าผลการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรงของสะพานในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง ดังแสดงในภาพที่ 38 และ 39

LONGITUDINAL SECTION

UNIT: METER

POINT	STATION	DEPTH OF SECTION(h)	BOTTOM SLAB THK.(h _b)	V/S RATIO
1	0.00	3.000	0.250	0.171
2	3.00	3.000	0.250	0.171
3	6.00	3.000	0.250	0.171
4	9.00	3.000	0.250	0.171
5	12.00	3.000	0.250	0.171
6	15.00	3.000	0.250	0.171
7	18.00	3.000	0.250	0.171
8	21.00	3.000	0.250	0.171
9	24.00	3.000	0.250	0.171
10	27.00	3.000	0.250	0.171
11	30.00	3.008	0.252	0.171
12	33.00	3.033	0.258	0.172
13	36.00	3.075	0.269	0.173
14	39.00	3.133	0.283	0.175
15	42.00	3.208	0.302	0.178
16	45.00	3.299	0.325	0.181
17	48.00	3.407	0.352	0.185
18	51.00	3.532	0.383	0.189
19	54.00	3.673	0.418	0.193
20	57.00	3.831	0.458	0.198
21	60.00	4.006	0.501	0.203
22	63.00	4.197	0.549	0.209
23	66.00	4.404	0.601	0.215
24	69.00	4.629	0.657	0.221
25	72.00	4.870	0.717	0.228
26	75.00	5.127	0.782	0.235
27	78.00	5.402	0.850	0.242
28	81.00	5.693	0.923	0.249
29	84.00	6.000	1.000	0.257
30	87.00	5.700	0.925	0.250
31	90.00	5.416	0.854	0.243
32	93.00	5.148	0.787	0.236
33	96.00	4.895	0.724	0.229
34	99.00	4.659	0.665	0.222
35	102.00	4.438	0.609	0.216
36	105.00	4.233	0.558	0.210
37	108.00	4.043	0.511	0.204
38	111.00	3.870	0.467	0.199
39	114.00	3.712	0.428	0.194
40	117.00	3.570	0.393	0.190
41	120.00	3.444	0.361	0.186
42	123.00	3.333	0.333	0.182
43	126.00	3.239	0.310	0.179
44	129.00	3.160	0.290	0.176
45	132.00	3.097	0.274	0.174
46	135.00	3.049	0.262	0.173
47	138.00	3.018	0.254	0.172
48	141.00	3.002	0.250	0.171
49	144.00	3.002	0.250	0.171

ภาพที่ 36 ความลึกของหน้าตัดคานสะพานคอนกรีตอัดแรงและความหนาของพื้นที่รองรับคาน

LONGITUDINAL SECTION

UNIT: METER

POINT	STATION	DEPTH OF SECTION(h)	BOTTOM SLAB THK. (h_b)	V/S RATIO
50	147.00	3.018	0.254	0.172
51	150.00	3.049	0.262	0.173
52	153.00	3.097	0.274	0.174
53	156.00	3.160	0.290	0.176
54	159.00	3.239	0.310	0.179
55	162.00	3.333	0.333	0.182
56	165.00	3.444	0.361	0.186
57	168.00	3.570	0.393	0.190
58	171.00	3.712	0.428	0.194
59	174.00	3.870	0.467	0.199
60	177.00	4.043	0.511	0.204
61	180.00	4.233	0.558	0.210
62	183.00	4.438	0.609	0.216
63	186.00	4.659	0.665	0.222
64	189.00	4.895	0.724	0.229
65	192.00	5.148	0.787	0.236
66	195.00	5.416	0.854	0.243
67	198.00	5.700	0.925	0.250
68	201.00	6.000	1.000	0.257
69	204.00	5.707	0.927	0.250
70	207.00	5.430	0.858	0.243
71	210.00	5.168	0.792	0.236
72	213.00	4.920	0.730	0.230
73	216.00	4.688	0.672	0.223
74	219.00	4.470	0.618	0.217
75	222.00	4.267	0.567	0.211
76	225.00	4.080	0.520	0.206
77	228.00	3.908	0.477	0.200
78	231.00	3.750	0.438	0.195
79	234.00	3.608	0.402	0.191
80	237.00	3.480	0.370	0.187
81	240.00	3.368	0.342	0.183
82	243.00	3.270	0.317	0.180
83	246.00	3.188	0.297	0.177
84	249.00	3.120	0.280	0.175
85	252.00	3.068	0.267	0.173
86	255.00	3.030	0.257	0.172
87	258.00	3.007	0.252	0.171
88	261.00	3.000	0.250	0.171
89	264.00	3.000	0.250	0.171
90	267.00	3.000	0.250	0.171
91	270.00	3.000	0.250	0.171
92	273.00	3.000	0.250	0.171
93	276.00	3.000	0.250	0.171
94	279.00	3.000	0.250	0.171
95	282.00	3.000	0.250	0.171
96	285.00	3.000	0.250	0.171

หมายเหตุ V/S RATIO = อัตราส่วนระหว่างปริมาตรกับผิวสัมผัสของหน้าตัดคานสะพาน

ภาพที่ 36 (ต่อ)

CROSS SECTION

UNIT: METER

POINT	STATION	AREA	INERTIA	CENTER OF GRAVITY		SECTION MODULUS	
				TOP	BOTTOM	TOP	BOTTOM
1	0.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
2	3.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
3	6.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
4	9.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
5	12.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
6	15.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
7	18.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
8	21.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
9	24.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
10	27.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
11	30.00	8.480	20.622	-1.084	1.925	-19.028	10.715
12	33.00	8.538	21.298	-1.100	1.933	-19.363	11.016
13	36.00	8.633	22.455	-1.127	1.948	-19.926	11.528
14	39.00	8.767	24.139	-1.165	1.968	-20.724	12.264
15	42.00	8.939	26.416	-1.214	1.994	-21.765	13.247
16	45.00	9.149	29.376	-1.274	2.025	-23.063	14.503
17	48.00	9.398	33.132	-1.345	2.062	-24.634	16.066
18	51.00	9.685	37.825	-1.428	2.104	-26.495	17.976
19	54.00	10.012	43.630	-1.522	2.151	-28.670	20.281
20	57.00	10.377	50.756	-1.628	2.203	-31.185	23.035
21	60.00	10.780	59.451	-1.745	2.260	-34.068	26.301
22	63.00	11.223	70.013	-1.874	2.322	-37.352	30.149
23	66.00	11.705	82.788	-2.016	2.389	-41.073	34.657
24	69.00	12.225	98.183	-2.169	2.460	-45.270	39.912
25	72.00	12.785	116.669	-2.334	2.536	-49.986	46.010
26	75.00	13.383	138.790	-2.511	2.616	-55.266	53.052
27	78.00	14.021	165.171	-2.701	2.701	-61.159	61.152
28	81.00	14.697	196.527	-2.902	2.790	-67.717	70.431
29	84.00	15.413	233.672	-3.116	2.884	-74.997	81.017
30	87.00	14.715	197.403	-2.907	2.793	-67.895	70.685
31	90.00	14.055	166.651	-2.711	2.705	-61.478	61.598
32	93.00	13.431	140.659	-2.525	2.622	-55.696	53.636
33	96.00	12.844	118.761	-2.352	2.544	-50.500	46.687
34	99.00	12.295	100.370	-2.189	2.469	-45.845	40.645
35	102.00	11.782	84.975	-2.038	2.399	-41.687	35.415
36	105.00	11.307	72.132	-1.899	2.334	-37.987	30.907
37	108.00	10.868	61.455	-1.771	2.273	-34.708	27.040
38	111.00	10.466	52.613	-1.654	2.216	-31.816	23.740
39	114.00	10.101	45.322	-1.548	2.164	-29.282	20.942
40	117.00	9.773	39.342	-1.453	2.117	-27.076	18.584
41	120.00	9.482	34.469	-1.369	2.075	-25.174	16.615
42	123.00	9.228	30.533	-1.296	2.037	-23.556	14.988
43	126.00	9.010	27.395	-1.234	2.005	-22.201	13.665
44	129.00	8.828	24.940	-1.182	1.977	-21.095	12.612
45	132.00	8.683	23.079	-1.141	1.956	-20.225	11.802
46	135.00	8.574	21.741	-1.110	1.939	-19.581	11.212
47	138.00	8.502	20.876	-1.090	1.928	-19.155	10.828
48	141.00	8.466	20.452	-1.080	1.922	-18.943	10.639
49	144.00	8.466	20.452	-1.080	1.922	-18.943	10.639
50	147.00	8.502	20.876	-1.090	1.928	-19.155	10.828
51	150.00	8.574	21.741	-1.110	1.939	-19.581	11.212
52	153.00	8.683	23.079	-1.141	1.956	-20.225	11.802

ภาพที่ 37 คุณสมบัติของหน้าตัดคานสะพานที่ตำแหน่งจุดแบ่งต่างๆ

CROSS SECTION

UNIT: METER

POINT	STATION	AREA	INERTIA	CENTER OF GRAVITY		SECTION MODULUS	
				TOP	BOTTOM	TOP	BOTTOM
53	156.00	8.828	24.940	-1.182	1.977	-21.095	12.612
54	159.00	9.010	27.395	-1.234	2.005	-22.201	13.665
55	162.00	9.228	30.533	-1.296	2.037	-23.556	14.988
56	165.00	9.482	34.469	-1.369	2.075	-25.174	16.615
57	168.00	9.773	39.342	-1.453	2.117	-27.076	18.584
58	171.00	10.101	45.322	-1.548	2.164	-29.282	20.942
59	174.00	10.466	52.613	-1.654	2.216	-31.816	23.740
60	177.00	10.868	61.455	-1.771	2.273	-34.708	27.040
61	180.00	11.307	72.132	-1.899	2.334	-37.987	30.907
62	183.00	11.782	84.975	-2.038	2.399	-41.687	35.415
63	186.00	12.295	100.370	-2.189	2.469	-45.845	40.645
64	189.00	12.844	118.761	-2.352	2.544	-50.500	46.687
65	192.00	13.431	140.659	-2.525	2.622	-55.696	53.636
66	195.00	14.055	166.651	-2.711	2.705	-61.478	61.598
67	198.00	14.715	197.403	-2.907	2.793	-67.895	70.685
68	201.00	15.413	233.672	-3.116	2.884	-74.997	81.017
69	204.00	14.732	198.240	-2.913	2.795	-68.064	70.928
70	207.00	14.087	168.070	-2.720	2.710	-61.784	62.025
71	210.00	13.477	142.459	-2.539	2.629	-56.109	54.197
72	213.00	12.901	120.784	-2.369	2.551	-50.995	47.339
73	216.00	12.362	102.495	-2.209	2.478	-46.399	41.354
74	219.00	11.857	87.112	-2.060	2.410	-42.280	36.151
75	222.00	11.387	74.213	-1.922	2.345	-38.603	31.647
76	225.00	10.953	63.434	-1.795	2.285	-35.332	27.766
77	228.00	10.554	54.458	-1.679	2.229	-32.435	24.437
78	231.00	10.189	47.013	-1.573	2.177	-29.883	21.598
79	234.00	9.860	40.868	-1.478	2.130	-27.651	19.191
80	237.00	9.566	35.825	-1.393	2.087	-25.714	17.167
81	240.00	9.306	31.718	-1.319	2.049	-24.052	15.482
82	243.00	9.082	28.410	-1.255	2.015	-22.646	14.096
83	246.00	8.892	25.787	-1.200	1.987	-21.481	12.977
84	249.00	8.737	23.757	-1.156	1.964	-20.545	12.098
85	252.00	8.616	22.249	-1.122	1.945	-19.827	11.437
86	255.00	8.530	21.209	-1.098	1.932	-19.320	10.977
87	258.00	8.479	20.600	-1.083	1.924	-19.017	10.705
88	261.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
89	264.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
90	267.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
91	270.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
92	273.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
93	276.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
94	279.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
95	282.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616
96	285.00	8.461	20.399	-1.078	1.922	-18.917	10.616

ภาพที่ 37 (ต่อ)

STRESSES IN SECTION FROM CANTILEVER BEAM STAGE

POINT	BENDING MOMENT		INITIAL STRESS		FINAL STRESS	
	INITIAL	FINAL	TOP	BOTTOM	TOP	BOTTOM
25	-0.00	-0.00	35.10	8.47	32.54	7.85
26	538.16	352.35	64.89	19.27	57.98	21.13
27	923.88	461.38	89.24	34.15	77.32	39.22
28	318.26	-459.86	76.27	43.02	60.63	51.71
29	-612.98	-1739.26	60.70	53.23	41.73	64.90
30	308.39	-468.91	76.15	43.01	60.55	51.66
31	909.63	449.24	88.61	33.99	76.80	39.03
32	551.15	365.39	65.51	19.43	58.61	21.26
33	-0.00	-0.00	35.31	8.54	32.73	7.92

ภาพที่ 38 หน่วยแรงในหน้าตัดในชั้นตอมคานปลายยื่นสมดุสองข้าง

STRESSES IN SECTION DUE TO POSITIVE MOMENT IN LEFT SPAN
FROM BOTH OVERHANGING AND CONTINUOUS BEAMS STAGES

POINT	BENDING MOMENT		INITIAL STRESS		FINAL STRESS	
	INITIAL	FINAL	TOP	BOTTOM	TOP	BOTTOM
1	0.00	0.00	18.81	249.06	17.20	227.72
2	1337.61	1904.14	89.83	127.14	118.29	54.13
3	2492.45	3568.47	151.16	22.07	206.63	-97.97
4	3464.53	4993.03	202.82	-65.86	282.24	-228.11
5	4253.84	6177.89	244.63	-139.11	345.00	-338.10
6	4860.38	7123.15	276.49	-198.97	394.82	-429.05
7	5284.17	7828.94	298.68	-241.69	431.97	-497.67
8	5525.19	8295.41	311.20	-267.26	456.45	-543.97
9	5583.44	8522.74	314.06	-275.69	468.27	-567.96
10	6023.75	9032.59	405.58	-248.67	558.21	-553.03
11	6224.96	9309.42	475.08	-200.07	632.96	-507.26
12	6303.38	9372.08	537.77	-128.74	689.99	-429.24
13	5969.81	8975.03	544.01	-46.99	687.55	-331.04
14	5771.59	8647.83	583.67	53.97	713.19	-206.25
15	5089.58	7792.17	559.13	148.31	673.37	-81.77
16	4329.84	6802.51	536.56	242.48	633.21	45.90
17	3373.20	5562.32	500.90	330.92	578.82	168.93
18	2347.15	4196.82	470.39	413.10	528.85	284.89

ภาพที่ 39 หน่วยแรงในหน้าตัดในชั้นตอมคานช่วงเดียวปลายยื่นและคานต่อเนื่องสามช่วง

5.3 การแสดงผลการวิเคราะห์แบบแผนภาพ สามารถเรียกได้จากเมนูในส่วน
Graphic Result โดยแยกการแสดงผลออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

- Influence Line แสดงเส้นอิทธิพล โดยแยกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ Member Force และ
Support Reaction ดังนี้

Member Force แสดงเส้นอิทธิพลของโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน ในภาพที่ 40 – 42

Support Reaction แสดงเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ในภาพที่ 28 และ 43

MOMENT INFLUENCE TABLE FROM CONTINUOUS BEAM STAGE

UNITS: METER / UNIT LOAD

UNIT LOAD AT		MOMENT AT STATION								
POINT	STATION	0.00	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00
1	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3.00	0.000	2.855	2.711	2.566	2.422	2.277	2.133	1.988	1.844
3	6.00	0.000	2.711	5.423	5.134	4.845	4.556	4.268	3.979	3.690
4	9.00	0.000	2.568	5.135	7.703	7.271	6.838	6.406	5.973	5.541
5	12.00	0.000	2.425	4.850	7.275	9.699	9.124	8.549	7.974	7.399
6	15.00	0.000	2.283	4.566	6.850	9.133	11.416	10.699	9.983	9.266
7	18.00	0.000	2.143	4.286	6.429	8.572	10.715	12.858	12.001	11.144
8	21.00	0.000	2.005	4.009	6.014	8.018	10.023	12.027	14.032	13.036
9	24.00	0.000	1.868	3.736	5.604	7.472	9.340	11.208	13.076	14.944
10	27.00	0.000	1.734	3.468	5.202	6.935	8.669	10.403	12.137	13.871
11	30.00	0.000	1.602	3.204	4.807	6.409	8.011	9.613	11.216	12.818
12	33.00	0.000	1.473	2.947	4.420	5.894	7.367	8.841	10.314	11.788
13	36.00	0.000	1.348	2.696	4.044	5.391	6.739	8.087	9.435	10.783
14	39.00	0.000	1.226	2.451	3.677	4.903	6.128	7.354	8.580	9.805
15	42.00	0.000	1.107	2.214	3.322	4.429	5.536	6.643	7.751	8.858
16	45.00	0.000	0.993	1.986	2.978	3.971	4.964	5.957	6.949	7.942
17	48.00	0.000	0.883	1.765	2.648	3.531	4.413	5.296	6.178	7.061
18	51.00	0.000	0.777	1.554	2.331	3.108	3.885	4.662	5.439	6.217
19	54.00	0.000	0.676	1.353	2.029	2.705	3.382	4.058	4.735	5.411
20	57.00	0.000	0.581	1.162	1.742	2.323	2.904	3.485	4.066	4.647
21	60.00	0.000	0.491	0.981	1.472	1.963	2.454	2.944	3.435	3.926
22	63.00	0.000	0.406	0.813	1.219	1.625	2.032	2.438	2.844	3.251
23	66.00	0.000	0.328	0.656	0.984	1.312	1.640	1.968	2.296	2.624
24	69.00	0.000	0.256	0.512	0.768	1.024	1.279	1.535	1.791	2.047
25	72.00	0.000	0.190	0.381	0.571	0.762	0.952	1.142	1.333	1.523
26	75.00	0.000	0.132	0.264	0.395	0.527	0.659	0.791	0.922	1.054
27	78.00	0.000	0.080	0.161	0.241	0.321	0.402	0.482	0.562	0.642
28	81.00	0.000	0.036	0.073	0.109	0.145	0.181	0.218	0.254	0.290
29	84.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30	87.00	-0.000	-0.081	-0.163	-0.244	-0.326	-0.407	-0.488	-0.570	-0.651
31	90.00	-0.000	-0.156	-0.312	-0.467	-0.623	-0.779	-0.935	-1.091	-1.247
32	93.00	-0.000	-0.223	-0.447	-0.670	-0.894	-1.117	-1.341	-1.564	-1.788
33	96.00	-0.000	-0.285	-0.569	-0.854	-1.139	-1.423	-1.708	-1.992	-2.277
34	99.00	-0.000	-0.339	-0.679	-1.018	-1.358	-1.697	-2.037	-2.376	-2.716
35	102.00	-0.000	-0.388	-0.776	-1.164	-1.553	-1.941	-2.329	-2.717	-3.105
36	105.00	-0.000	-0.431	-0.862	-1.293	-1.724	-2.155	-2.586	-3.017	-3.448
37	108.00	-0.000	-0.468	-0.936	-1.404	-1.873	-2.341	-2.809	-3.277	-3.745

ภาพที่ 40 ค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับโมเมนต์ดัดของคานต่อเนื่องสามช่วง

MOMENT INFLUENCE TABLE FROM CONTINUOUS BEAM STAGE

UNITS: METER / UNIT LOAD

UNIT LOAD AT		MOMENT AT STATION								
POINT	STATION	0.00	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00
38	111.00	-0.000	-0.500	-1.000	-1.500	-1.999	-2.499	-2.999	-3.499	-3.999
39	114.00	-0.000	-0.526	-1.053	-1.579	-2.105	-2.632	-3.158	-3.684	-4.211
40	117.00	-0.000	-0.548	-1.096	-1.643	-2.191	-2.739	-3.287	-3.835	-4.382
41	120.00	-0.000	-0.564	-1.129	-1.693	-2.258	-2.822	-3.387	-3.951	-4.516
42	123.00	-0.000	-0.577	-1.153	-1.730	-2.306	-2.883	-3.459	-4.036	-4.613
43	126.00	-0.000	-0.584	-1.169	-1.753	-2.337	-2.922	-3.506	-4.090	-4.675
44	129.00	-0.000	-0.588	-1.176	-1.764	-2.352	-2.940	-3.528	-4.116	-4.703
45	132.00	-0.000	-0.588	-1.175	-1.763	-2.350	-2.938	-3.526	-4.113	-4.701
46	135.00	-0.000	-0.584	-1.167	-1.751	-2.334	-2.918	-3.502	-4.085	-4.669
47	138.00	-0.000	-0.576	-1.152	-1.728	-2.304	-2.881	-3.457	-4.033	-4.609
48	141.00	-0.000	-0.565	-1.131	-1.696	-2.261	-2.827	-3.392	-3.957	-4.523
49	144.00	-0.000	-0.552	-1.103	-1.655	-2.206	-2.758	-3.309	-3.861	-4.412
50	147.00	-0.000	-0.535	-1.070	-1.605	-2.140	-2.674	-3.209	-3.744	-4.279
51	150.00	-0.000	-0.516	-1.031	-1.547	-2.063	-2.578	-3.094	-3.609	-4.125
52	153.00	-0.000	-0.494	-0.988	-1.482	-1.976	-2.470	-2.964	-3.458	-3.952
53	156.00	-0.000	-0.470	-0.940	-1.410	-1.881	-2.351	-2.821	-3.291	-3.761
54	159.00	-0.000	-0.444	-0.889	-1.333	-1.777	-2.222	-2.666	-3.111	-3.555
55	162.00	-0.000	-0.417	-0.834	-1.251	-1.667	-2.084	-2.501	-2.918	-3.335
56	165.00	-0.000	-0.388	-0.776	-1.163	-1.551	-1.939	-2.327	-2.715	-3.102
57	168.00	-0.000	-0.357	-0.715	-1.072	-1.430	-1.787	-2.145	-2.502	-2.860
58	171.00	-0.000	-0.326	-0.652	-0.978	-1.304	-1.630	-1.956	-2.282	-2.608
59	174.00	-0.000	-0.294	-0.587	-0.881	-1.175	-1.469	-1.762	-2.056	-2.350
60	177.00	-0.000	-0.261	-0.522	-0.782	-1.043	-1.304	-1.565	-1.825	-2.086
61	180.00	-0.000	-0.227	-0.455	-0.682	-0.910	-1.137	-1.364	-1.592	-1.819
62	183.00	-0.000	-0.194	-0.388	-0.581	-0.775	-0.969	-1.163	-1.357	-1.550
63	186.00	-0.000	-0.160	-0.320	-0.481	-0.641	-0.801	-0.961	-1.122	-1.282
64	189.00	-0.000	-0.127	-0.254	-0.381	-0.507	-0.634	-0.761	-0.888	-1.015
65	192.00	-0.000	-0.094	-0.188	-0.282	-0.376	-0.470	-0.564	-0.658	-0.751
66	195.00	-0.000	-0.062	-0.123	-0.185	-0.247	-0.308	-0.370	-0.432	-0.493
67	198.00	-0.000	-0.030	-0.061	-0.091	-0.121	-0.151	-0.182	-0.212	-0.242
68	201.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
69	204.00	0.000	0.035	0.069	0.104	0.139	0.174	0.208	0.243	0.278
70	207.00	0.000	0.066	0.131	0.197	0.263	0.328	0.394	0.460	0.525
71	210.00	0.000	0.093	0.186	0.279	0.372	0.465	0.558	0.651	0.744
72	213.00	0.000	0.117	0.234	0.350	0.467	0.584	0.701	0.817	0.934
73	216.00	0.000	0.137	0.274	0.412	0.549	0.686	0.823	0.960	1.098
74	219.00	0.000	0.154	0.309	0.463	0.618	0.772	0.926	1.081	1.235
75	222.00	0.000	0.168	0.337	0.505	0.674	0.842	1.011	1.179	1.348
76	225.00	0.000	0.180	0.359	0.539	0.719	0.898	1.078	1.258	1.437
77	228.00	0.000	0.188	0.376	0.564	0.752	0.940	1.128	1.316	1.504
78	231.00	0.000	0.194	0.387	0.581	0.775	0.968	1.162	1.356	1.549
79	234.00	0.000	0.197	0.394	0.591	0.787	0.984	1.181	1.378	1.575
80	237.00	0.000	0.198	0.395	0.593	0.790	0.988	1.186	1.383	1.581
81	240.00	0.000	0.196	0.392	0.588	0.785	0.981	1.177	1.373	1.569
82	243.00	0.000	0.193	0.385	0.578	0.770	0.963	1.155	1.348	1.540
83	246.00	0.000	0.187	0.374	0.561	0.748	0.935	1.122	1.309	1.496
84	249.00	0.000	0.180	0.359	0.539	0.719	0.898	1.078	1.258	1.437
85	252.00	0.000	0.171	0.341	0.512	0.682	0.853	1.024	1.194	1.365
86	255.00	0.000	0.160	0.320	0.480	0.640	0.800	0.960	1.120	1.280
87	258.00	0.000	0.148	0.296	0.444	0.592	0.740	0.888	1.036	1.184
88	261.00	0.000	0.135	0.269	0.404	0.539	0.674	0.808	0.943	1.078
89	264.00	0.000	0.120	0.241	0.361	0.481	0.602	0.722	0.842	0.963
90	267.00	0.000	0.105	0.210	0.315	0.420	0.525	0.630	0.735	0.840
91	270.00	0.000	0.089	0.178	0.266	0.355	0.444	0.533	0.621	0.710
92	273.00	0.000	0.072	0.144	0.216	0.287	0.359	0.431	0.503	0.575
93	276.00	0.000	0.054	0.109	0.163	0.218	0.272	0.326	0.381	0.435
94	279.00	0.000	0.036	0.073	0.109	0.146	0.182	0.219	0.255	0.292
95	282.00	0.000	0.018	0.037	0.055	0.073	0.092	0.110	0.128	0.147
96	285.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ภาพที่ 40 (ต่อ)

SHEAR INFLUENCE TABLE FROM CONTINUOUS BEAM STAGE
(WITHOUT FLOOR BEAM)

UNITS: METER / UNIT LOAD

UNIT LOAD AT		SHEAR AT STATION								
POINT	STATION	0.00	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00
1	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3.00	0.952	-0.048	-0.048	-0.048	-0.048	-0.048	-0.048	-0.048	-0.048
3	6.00	0.904	0.904	-0.096	-0.096	-0.096	-0.096	-0.096	-0.096	-0.096
4	9.00	0.856	0.856	0.856	-0.144	-0.144	-0.144	-0.144	-0.144	-0.144
5	12.00	0.808	0.808	0.808	0.808	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192
6	15.00	0.761	0.761	0.761	0.761	0.761	-0.239	-0.239	-0.239	-0.239
7	18.00	0.714	0.714	0.714	0.714	0.714	0.714	-0.286	-0.286	-0.286
8	21.00	0.668	0.668	0.668	0.668	0.668	0.668	0.668	-0.332	-0.332
9	24.00	0.623	0.623	0.623	0.623	0.623	0.623	0.623	0.623	-0.377
10	27.00	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578
11	30.00	0.534	0.534	0.534	0.534	0.534	0.534	0.534	0.534	0.534
12	33.00	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491
13	36.00	0.449	0.449	0.449	0.449	0.449	0.449	0.449	0.449	0.449
14	39.00	0.409	0.409	0.409	0.409	0.409	0.409	0.409	0.409	0.409
15	42.00	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369
16	45.00	0.331	0.331	0.331	0.331	0.331	0.331	0.331	0.331	0.331
17	48.00	0.294	0.294	0.294	0.294	0.294	0.294	0.294	0.294	0.294
18	51.00	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259
19	54.00	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225
20	57.00	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194
21	60.00	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164
22	63.00	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135
23	66.00	0.109	0.109	0.109	0.109	0.109	0.109	0.109	0.109	0.109
24	69.00	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085
25	72.00	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063
26	75.00	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044
27	78.00	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
28	81.00	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
29	84.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30	87.00	-0.027	-0.027	-0.027	-0.027	-0.027	-0.027	-0.027	-0.027	-0.027
31	90.00	-0.052	-0.052	-0.052	-0.052	-0.052	-0.052	-0.052	-0.052	-0.052
32	93.00	-0.074	-0.074	-0.074	-0.074	-0.074	-0.074	-0.074	-0.074	-0.074
33	96.00	-0.095	-0.095	-0.095	-0.095	-0.095	-0.095	-0.095	-0.095	-0.095
34	99.00	-0.113	-0.113	-0.113	-0.113	-0.113	-0.113	-0.113	-0.113	-0.113
35	102.00	-0.129	-0.129	-0.129	-0.129	-0.129	-0.129	-0.129	-0.129	-0.129
36	105.00	-0.144	-0.144	-0.144	-0.144	-0.144	-0.144	-0.144	-0.144	-0.144
37	108.00	-0.156	-0.156	-0.156	-0.156	-0.156	-0.156	-0.156	-0.156	-0.156
38	111.00	-0.167	-0.167	-0.167	-0.167	-0.167	-0.167	-0.167	-0.167	-0.167
39	114.00	-0.175	-0.175	-0.175	-0.175	-0.175	-0.175	-0.175	-0.175	-0.175
40	117.00	-0.183	-0.183	-0.183	-0.183	-0.183	-0.183	-0.183	-0.183	-0.183
41	120.00	-0.188	-0.188	-0.188	-0.188	-0.188	-0.188	-0.188	-0.188	-0.188
42	123.00	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192
43	126.00	-0.195	-0.195	-0.195	-0.195	-0.195	-0.195	-0.195	-0.195	-0.195
44	129.00	-0.196	-0.196	-0.196	-0.196	-0.196	-0.196	-0.196	-0.196	-0.196
45	132.00	-0.196	-0.196	-0.196	-0.196	-0.196	-0.196	-0.196	-0.196	-0.196
46	135.00	-0.195	-0.195	-0.195	-0.195	-0.195	-0.195	-0.195	-0.195	-0.195
47	138.00	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192
48	141.00	-0.188	-0.188	-0.188	-0.188	-0.188	-0.188	-0.188	-0.188	-0.188
49	144.00	-0.184	-0.184	-0.184	-0.184	-0.184	-0.184	-0.184	-0.184	-0.184
50	147.00	-0.178	-0.178	-0.178	-0.178	-0.178	-0.178	-0.178	-0.178	-0.178
51	150.00	-0.172	-0.172	-0.172	-0.172	-0.172	-0.172	-0.172	-0.172	-0.172
52	153.00	-0.165	-0.165	-0.165	-0.165	-0.165	-0.165	-0.165	-0.165	-0.165
53	156.00	-0.157	-0.157	-0.157	-0.157	-0.157	-0.157	-0.157	-0.157	-0.157

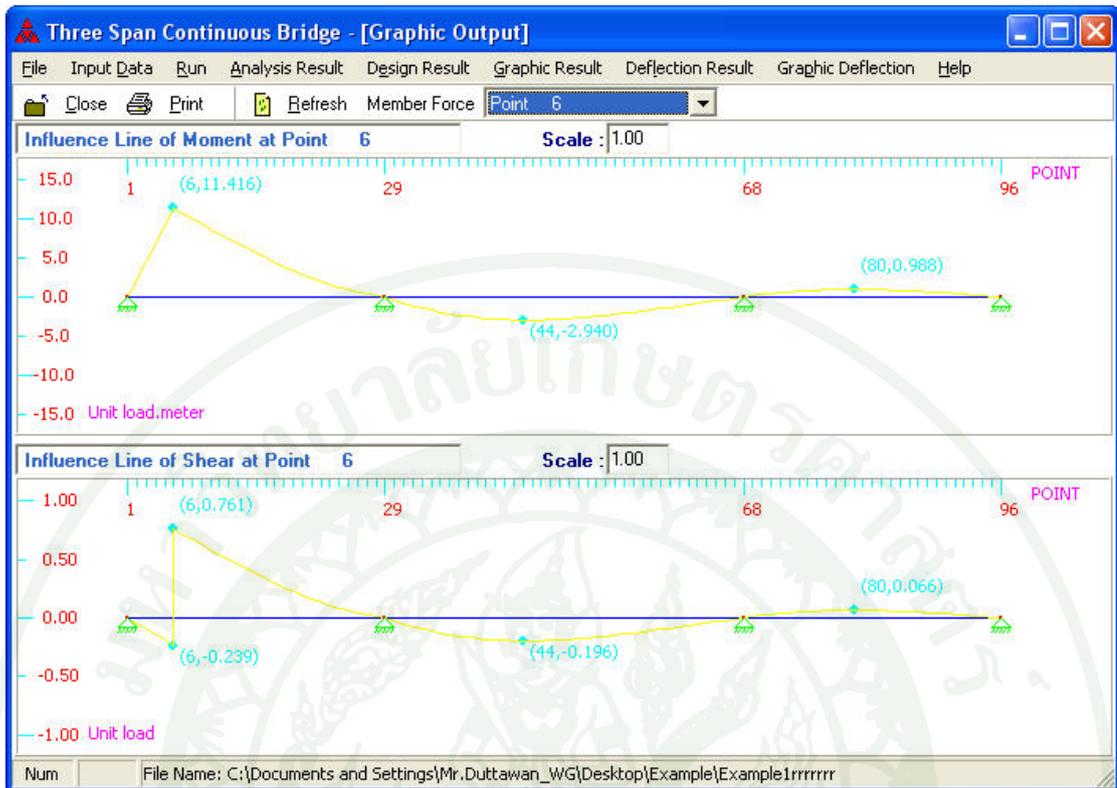
ภาพที่ 41 ค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือนของคานต่อเนื่องสามช่วง

SHEAR INFLUENCE TABLE FROM CONTINUOUS BEAM STAGE
(WITHOUT FLOOR BEAM)

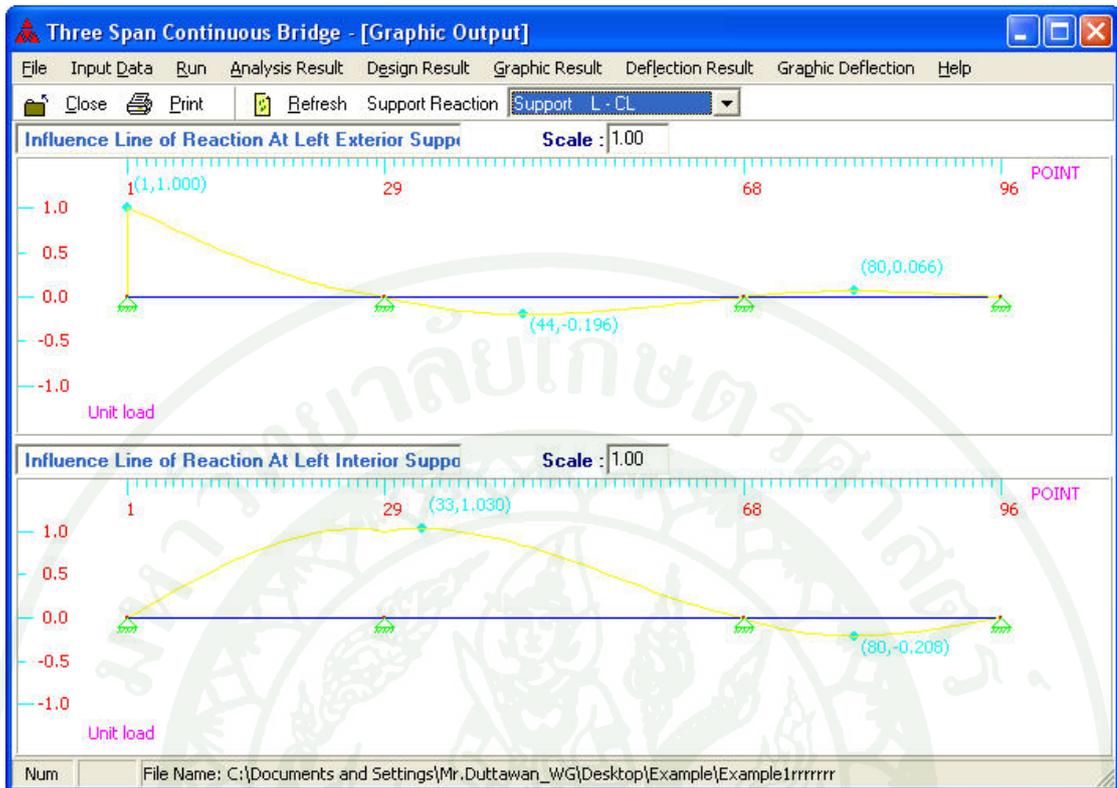
UNITS: METER / UNIT LOAD

UNIT LOAD AT		SHEAR AT STATION								
POINT	STATION	0.00	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00
54	159.00	-0.148	-0.148	-0.148	-0.148	-0.148	-0.148	-0.148	-0.148	-0.148
55	162.00	-0.139	-0.139	-0.139	-0.139	-0.139	-0.139	-0.139	-0.139	-0.139
56	165.00	-0.129	-0.129	-0.129	-0.129	-0.129	-0.129	-0.129	-0.129	-0.129
57	168.00	-0.119	-0.119	-0.119	-0.119	-0.119	-0.119	-0.119	-0.119	-0.119
58	171.00	-0.109	-0.109	-0.109	-0.109	-0.109	-0.109	-0.109	-0.109	-0.109
59	174.00	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098
60	177.00	-0.087	-0.087	-0.087	-0.087	-0.087	-0.087	-0.087	-0.087	-0.087
61	180.00	-0.076	-0.076	-0.076	-0.076	-0.076	-0.076	-0.076	-0.076	-0.076
62	183.00	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065
63	186.00	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053
64	189.00	-0.042	-0.042	-0.042	-0.042	-0.042	-0.042	-0.042	-0.042	-0.042
65	192.00	-0.031	-0.031	-0.031	-0.031	-0.031	-0.031	-0.031	-0.031	-0.031
66	195.00	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021
67	198.00	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010
68	201.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
69	204.00	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
70	207.00	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
71	210.00	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031
72	213.00	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039
73	216.00	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046
74	219.00	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
75	222.00	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056
76	225.00	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
77	228.00	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063
78	231.00	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065
79	234.00	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
80	237.00	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
81	240.00	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065
82	243.00	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064
83	246.00	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062
84	249.00	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
85	252.00	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
86	255.00	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053
87	258.00	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049
88	261.00	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045
89	264.00	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
90	267.00	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
91	270.00	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
92	273.00	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
93	276.00	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
94	279.00	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
95	282.00	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
96	285.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ภาพที่ 41 (ต่อ)



ภาพที่ 42 เส้นอิทธิพลของโมเมนต์คัตและแรงเฉือน



ภาพที่ 43 เส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

- Maximum Force แสดงไดอะแกรมของโมเมนต์คัตและแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนัก
บรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO ดังแสดงในภาพที่ 44 และ 45

MAXIMUM MOMENTS AND SHEARS FROM CONTINUOUS BEAM STAGE

UNITS: METER / TONS

POINT	STATION	DEAD LOAD MOMENT	TOTAL MOMENTS		DEAD LOAD SHEAR	TOTAL SHEARS	
			+	-		+	-
1	0.00	0.00	0.00	0.00	539.45	685.71	0.00
2	3.00	1337.61	1904.14	0.00	470.56	606.64	0.00
3	6.00	2492.45	3568.47	0.00	401.66	527.99	0.00
4	9.00	3464.53	4993.03	0.00	332.77	449.76	0.00
5	12.00	4253.84	6177.89	0.00	263.87	371.96	0.00
6	15.00	4860.38	7123.15	0.00	194.97	294.58	0.00
7	18.00	5284.17	7828.94	0.00	126.08	217.62	0.00
8	21.00	5525.19	8295.41	0.00	57.18	141.09	0.00
9	24.00	5583.44	8522.74	0.00	-11.71	0.00	-80.33
10	27.00	5458.93	8511.17	0.00	-80.61	0.00	-154.29
11	30.00	5151.65	8260.91	0.00	-149.57	0.00	-228.67
12	33.00	4661.19	7771.84	0.00	-218.81	0.00	-303.67
13	36.00	3986.33	7043.01	0.00	-288.60	0.00	-379.54
14	39.00	3125.00	6072.69	0.00	-359.21	0.00	-456.56
15	42.00	2074.30	4858.35	0.00	-430.93	0.00	-534.98
16	45.00	830.53	3396.66	0.00	-504.01	0.00	-615.06
17	48.00	-610.86	0.00	-2857.65	-578.76	0.00	-697.07
18	51.00	-2255.24	0.00	-4845.79	-655.43	0.00	-781.27
19	54.00	-4108.82	0.00	-7067.06	-734.31	0.00	-867.91
20	57.00	-6178.65	0.00	-9528.51	-815.69	0.00	-957.27
21	60.00	-8472.62	0.00	-12238.01	-899.83	0.00	-1049.59
22	63.00	-10999.45	0.00	-15208.87	-987.01	0.00	-1145.15
23	66.00	-13768.70	0.00	-18524.78	-1077.53	0.00	-1244.20
24	69.00	-16790.76	0.00	-22203.75	-1171.65	0.00	-1347.00
25	72.00	-20076.89	0.00	-26243.32	-1269.66	0.00	-1453.80
26	75.00	-23639.19	0.00	-30646.44	-1371.84	0.00	-1564.87
27	78.00	-27490.55	0.00	-35417.58	-1478.47	0.00	-1680.47
28	81.00	-31644.77	0.00	-40565.04	-1589.83	0.00	-1800.84
29	84.00	-36116.45	0.00	-46094.95	-1706.20	0.00	-1926.25
29	84.00	-36116.45	0.00	-46094.95	1666.57	1888.26	0.00
30	87.00	-31750.66	0.00	-40674.59	1550.14	1762.96	0.00
31	90.00	-27701.82	0.00	-35625.94	1438.59	1642.60	0.00
32	93.00	-23956.56	0.00	-30943.15	1331.67	1526.94	0.00
33	96.00	-20501.42	0.00	-26614.19	1229.10	1415.73	0.00
34	99.00	-17323.70	0.00	-22630.14	1130.63	1308.72	0.00
35	102.00	-14411.57	0.00	-18977.80	1035.97	1205.66	0.00
36	105.00	-11753.93	0.00	-15647.08	944.88	1106.31	0.00
37	108.00	-9340.51	0.00	-12627.75	857.08	1010.40	0.00
38	111.00	-7161.85	0.00	-9908.59	772.30	917.69	0.00
39	114.00	-5209.26	0.00	-7479.94	690.28	827.93	0.00
40	117.00	-3474.86	0.00	-5328.12	610.76	740.86	0.00
41	120.00	-1951.56	0.00	-3442.08	533.46	656.23	0.00
42	123.00	-633.09	0.00	-1812.60	458.13	573.78	0.00
43	126.00	486.07	1933.33	0.00	384.50	493.27	0.00
44	129.00	1410.62	3090.73	0.00	312.31	414.44	0.00
45	132.00	2144.49	4015.08	0.00	241.30	337.03	0.00
46	135.00	2690.79	4706.24	0.00	171.20	260.78	0.00
47	138.00	3051.89	5164.94	0.00	101.75	185.45	0.00
48	141.00	3229.34	5390.88	0.00	32.69	110.78	0.00

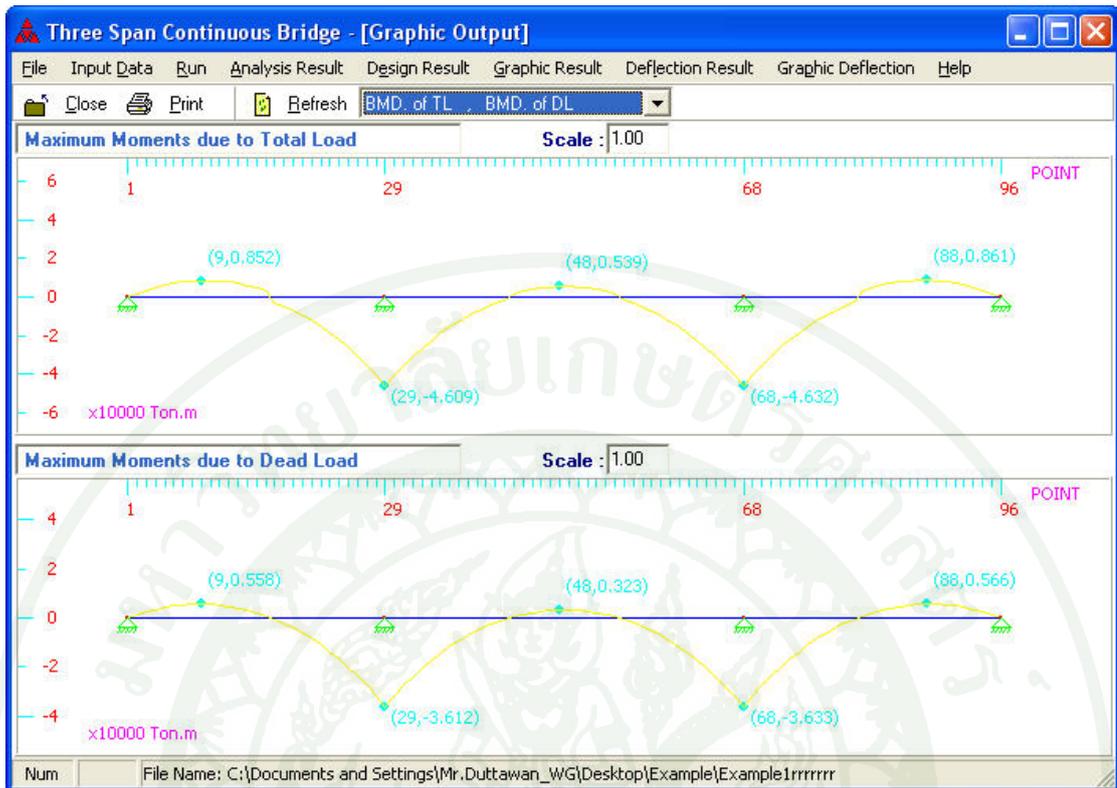
ภาพที่ 44 ผลรวมของโมเมนต์คัตและแรงเฉือนสูงสุด เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกแต่ละเทียบเท่า
และน้ำหนักบรรทุกของคานต่อเนื่องสามช่วง

MAXIMUM MOMENTS AND SHEARS FROM CONTINUOUS BEAM STAGE

UNITS: METER / TONS

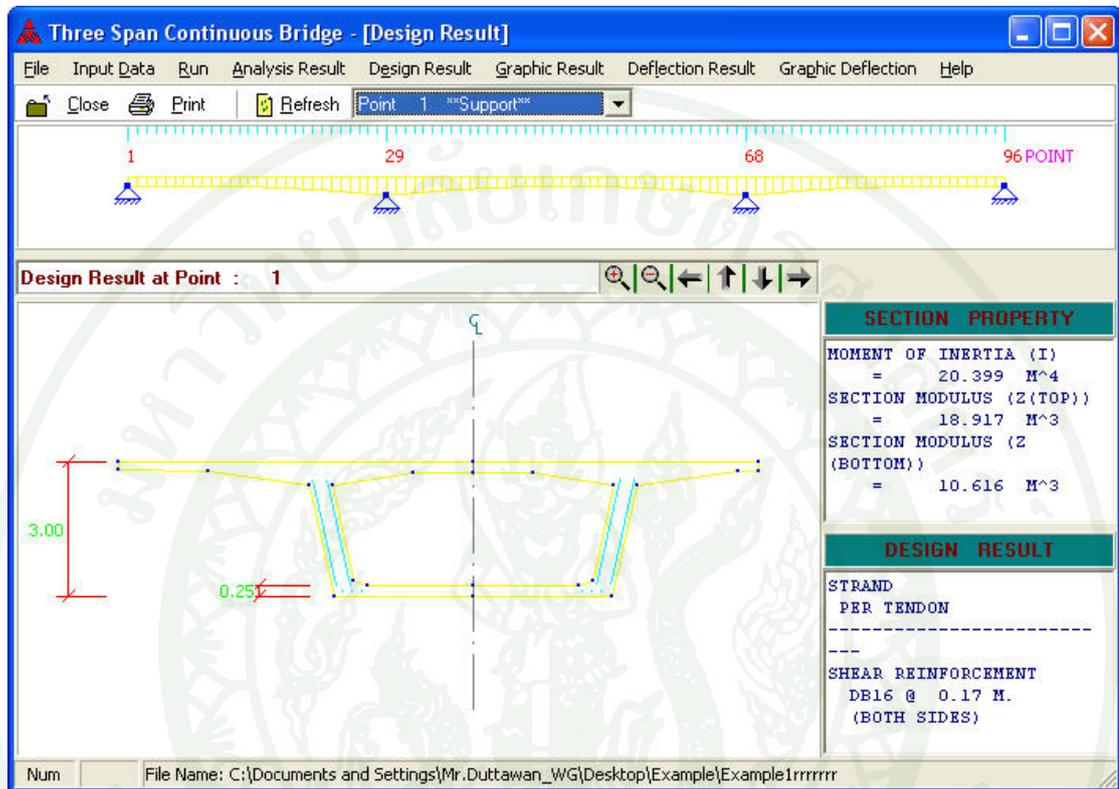
POINT	STATION	DEAD LOAD MOMENT	TOTAL MOMENTS		DEAD LOAD SHEAR	TOTAL SHEARS	
			+	-		+	-
49	144.00	3223.93	5384.45	0.00	-36.24	0.00	-114.42
50	147.00	3035.67	5145.67	0.00	-105.30	0.00	-189.12
51	150.00	2663.75	4674.21	0.00	-174.75	0.00	-264.47
52	153.00	2106.62	3970.47	0.00	-244.85	0.00	-340.74
53	156.00	1361.94	3033.79	0.00	-315.87	0.00	-418.17
54	159.00	426.57	1864.36	0.00	-388.06	0.00	-497.02
55	162.00	-703.41	0.00	-1871.17	-461.68	0.00	-577.55
56	165.00	-2032.70	0.00	-3513.57	-537.01	0.00	-660.01
57	168.00	-3566.81	0.00	-5411.85	-614.31	0.00	-744.66
58	171.00	-5312.03	0.00	-7575.70	-693.83	0.00	-831.74
59	174.00	-7275.44	0.00	-10017.38	-775.85	0.00	-921.52
60	177.00	-9464.92	0.00	-12749.48	-860.63	0.00	-1014.24
61	180.00	-11889.16	0.00	-15781.80	-948.43	0.00	-1110.15
62	183.00	-14557.62	0.00	-19125.52	-1039.53	0.00	-1209.52
63	186.00	-17480.57	0.00	-22790.88	-1134.18	0.00	-1312.58
64	189.00	-20669.10	0.00	-26787.84	-1232.65	0.00	-1419.59
65	192.00	-24135.07	0.00	-31128.96	-1335.22	0.00	-1530.80
66	195.00	-27891.14	0.00	-35824.24	-1442.14	0.00	-1646.46
67	198.00	-31950.80	0.00	-40884.73	-1553.69	0.00	-1766.81
68	201.00	-36327.20	0.00	-46316.56	-1670.12	0.00	-1892.11
68	201.00	-36327.20	0.00	-46316.56	1719.51	1939.72	0.00
69	204.00	-31815.49	0.00	-40746.47	1603.01	1814.17	0.00
70	207.00	-27621.99	0.00	-35560.39	1491.29	1693.43	0.00
71	210.00	-23732.78	0.00	-30752.58	1384.09	1577.26	0.00
72	213.00	-20134.65	0.00	-26315.09	1281.15	1465.44	0.00
73	216.00	-16815.20	0.00	-22245.01	1182.23	1357.72	0.00
74	219.00	-13762.75	0.00	-18540.24	1087.07	1253.90	0.00
75	222.00	-10966.42	0.00	-15202.68	995.42	1153.72	0.00
76	225.00	-8416.04	0.00	-12209.03	907.02	1056.96	0.00
77	228.00	-6102.25	0.00	-9478.32	821.62	963.39	0.00
78	231.00	-4016.42	0.00	-6999.50	738.97	872.77	0.00
79	234.00	-2150.67	0.00	-4764.68	658.82	784.87	0.00
80	237.00	-497.90	0.00	-2766.77	580.92	699.46	0.00
81	240.00	948.26	3540.05	0.00	505.00	616.29	0.00
82	243.00	2193.39	5001.35	0.00	430.83	535.14	0.00
83	246.00	3242.36	6212.21	0.00	358.15	455.78	0.00
84	249.00	4099.26	7176.32	0.00	286.71	377.95	0.00
85	252.00	4767.44	7896.71	0.00	216.27	301.44	0.00
86	255.00	5249.52	8375.64	0.00	146.57	226.00	0.00
87	258.00	5547.34	8614.68	0.00	77.36	151.39	0.00
88	261.00	5662.03	8614.68	0.00	8.40	77.39	0.00
89	264.00	5593.96	8375.78	0.00	-60.49	0.00	-144.89
90	267.00	5343.11	7897.77	0.00	-129.39	0.00	-221.43
91	270.00	4909.51	7180.45	0.00	-198.28	0.00	-298.39
92	273.00	4293.13	6223.69	0.00	-267.18	0.00	-375.77
93	276.00	3494.00	5027.34	0.00	-336.08	0.00	-453.57
94	279.00	2512.10	3591.32	0.00	-404.97	0.00	-531.80
95	282.00	1347.43	1915.55	0.00	-473.87	0.00	-610.45
96	285.00	0.00	0.00	0.00	-542.76	0.00	-689.51

ภาพที่ 44 (ต่อ)



ภาพที่ 45 โมเมนต์ดัดและแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO

- Design Result สำหรับแสดงผลการออกแบบหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรง โดยจะแสดงปริมาณลวดอัดแรงและเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ในภาพที่ 46

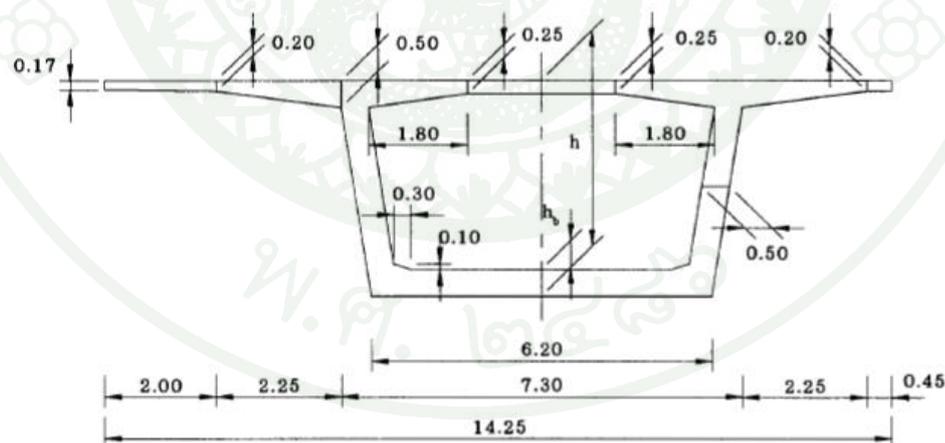


ภาพที่ 46 ผลการออกแบบหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรง

6. การวิเคราะห์ระยะโค้งของสะพานตามขั้นตอนการก่อสร้าง

การวิเคราะห์ระยะโค้งในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง จะต้องออกแบบขนาดของหน้าตัดตามขวางของคานสะพานคอนกรีตอัดแรงมาก่อน ในตัวอย่างการคำนวณกำหนดให้หน้าตัดบริเวณตอม่อกลางสะพานมีความลึก $1/20$ เท่าของความยาวของคานสะพานช่วงกลางซึ่งเท่ากับ 6.00 เมตร และความหนาของพื้นท้องคานเท่ากับ 1.00 เมตร ส่วนความลึกของหน้าตัดบริเวณตอม่อปลายสะพานและบริเวณกึ่งกลางของสะพานช่วงกลางเท่ากับครึ่งหนึ่งของความลึกของหน้าตัดบริเวณตอม่อกลางสะพานซึ่งเท่ากับ 3.00 เมตร และความหนาของพื้นท้องคานมีค่าเท่ากับ 0.25 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 12 และ 13 สำหรับความลึกของคานสะพานส่วนอื่นๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงตามสมการโค้งพาราโบลา ดังแสดงในภาพที่ 36

หน้าตัดของคานสะพานเป็นหน้าตัดรูปกล่องเดี่ยว (single box girder) มีสามช่องทางจราจรโดยแต่ละช่องทางจราจรกว้าง 3.25 เมตร และช่องทางเดินเท้าหนึ่งช่อง กว้าง 2.50 เมตร มีความลึกของหน้าตัด (Depth of Section, h) และความหนาของพื้นท้องคาน (Bottom Slab Thk., h_b) โดยมีขนาดของหน้าตัดและคุณสมบัติของหน้าตัดดังแสดงในภาพที่ 37 สำหรับแรงดึงเริ่มต้นและแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรงในขั้นตอนการก่อสร้าง แสดงในภาพที่ 48 และ 49



ภาพที่ 47 หน้าตัดสะพาน

LOSSES OF PRESTRESS AT POINTS FROM CANTILEVER BEAM STAGE

UNITS: KILOGRAM
< LEFT SIDE >

START POINT : 10 END POINT : 48

POINT	LOSSES OF PRESTRESS	
	INITIAL	FINAL
10	577313.13	532955.75
11	583212.88	536246.38
12	589125.75	540810.31
13	595416.63	546479.13
14	597880.38	547410.50
15	591103.38	541391.19
16	584436.13	535411.19
17	577934.31	529853.88
18	571498.38	524258.97
19	565175.88	518939.09
20	558888.44	513535.38
21	552673.75	508276.59
22	546482.31	502937.88
23	540340.56	497664.63
24	534222.75	492338.69
25	528142.06	487024.44
26	522094.16	481698.19
27	516077.34	476347.09
28	510271.34	471786.16
29	504551.16	467308.28
30	510309.69	471896.63
31	516107.66	476468.50
32	522109.63	481797.22
33	528151.81	487140.22
34	534229.44	492479.47
35	540337.19	497790.91
36	546490.00	503144.28
37	552668.44	508436.19
38	558909.69	513835.94
39	565181.69	519157.78
40	571545.81	524680.75
41	577959.00	530134.19
42	584506.81	535909.63
43	591142.38	541688.06
44	597972.63	547970.56
45	595416.00	546497.69
46	589127.88	540828.44
47	583215.19	536257.56
48	577313.75	532957.63

ภาพที่ 48 แรงดึงเริ่มต้นและแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรงในชั้นตอนกานปลายยื่นสมคูลสอง
ด้าน

PRESTRESS FORCES OF AFTER LOSSES AT POINTS FOR TENDONS PRODUCING POSITIVE MOMENT
IN LEFT SPAN FROM OVERHANGING AND CONTINUOUS BEAM STAGES

UNITS: KILOGRAM
< LEFT SPAN >

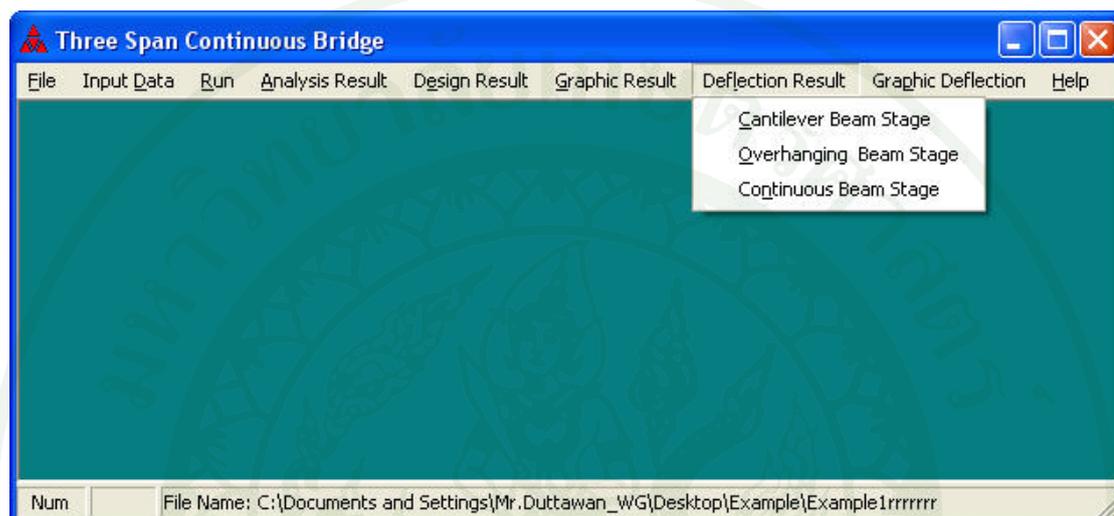
START POINT : 1 END POINT : 18

POINT	PRESTRESS FORCE AFTER LOSSES	
	INITIAL	FINAL
1	859478.56	785817.50
2	873557.31	805789.63
3	886402.38	821944.88
4	898934.56	835915.19
5	902747.56	841540.19
6	893362.63	834951.31
7	883720.19	827596.94
8	873818.88	819474.88
9	863656.88	810582.06
10	864583.56	810486.88
11	875201.69	818474.94
12	885509.38	825474.38
13	894983.25	831448.19
14	904793.13	837079.81
15	900945.44	830760.81
16	888793.38	816997.19
17	876713.38	803455.50
18	864969.75	790372.56

ภาพที่ 49 แรงดึงเริ่มต้นและแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรงในชั้นต่อนคานช่วงเดี่ยวยาวปลายขึ้น
และคานต่อเนื่องสามช่วง

7. ระยะเวลาและมูมหมุนที่จุดต่อระหว่างชิ้นส่วนย่อยของคานสะพานตามขั้นตอนการก่อสร้าง

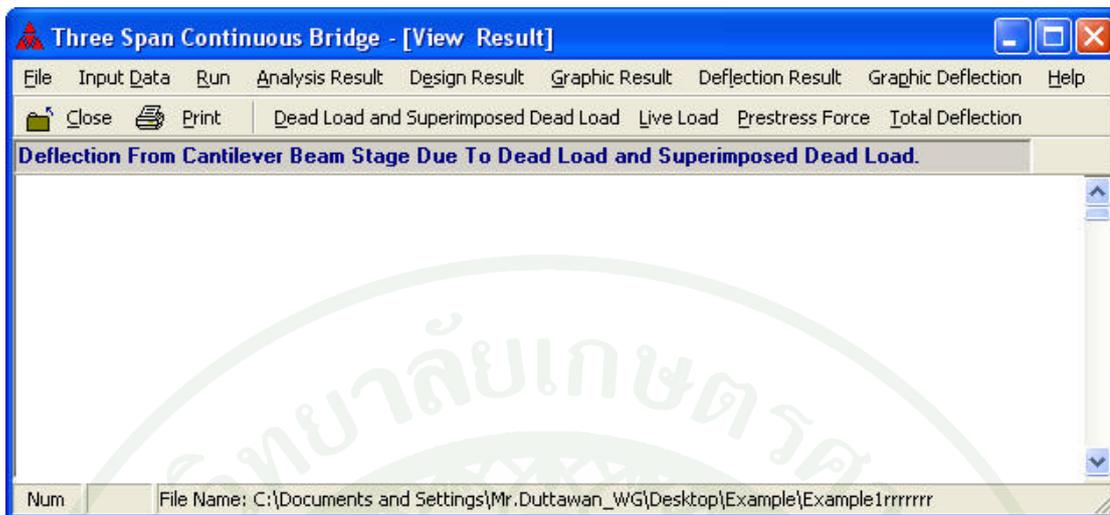
การแสดงผลระยะ โคงงและมูมหมุนที่เกิดขึ้นตามขั้นตอนการก่อสร้างสามารถเรียกได้จากเมนูหลัก Deflection Result โดยแยกผลของระยะ โคงงและมูมหมุนออกเป็นส่วนๆ ดังนี้



ภาพที่ 50 ผลการวิเคราะห์ระยะ โคงงและมูมหมุน

- Cantilever Beam Stage แสดงค่าระยะ โคงงและมูมหมุนในคานปลายยื่นสมดุลสองด้าน
- Overhanging Beam Stage แสดงค่าระยะ โคงงและมูมหมุนในคานช่วงเดี่ยวยปลายยื่น
- Continuous Beam Stage แสดงค่าระยะ โคงงและมูมหมุนในคานต่อเนื่องสามช่วง

7.1 ระยะเวลาและมูมหมุนของคานปลายยื่นสมดุลสองด้าน (Cantilever Beam Stage) เป็นการวิเคราะห์ระยะ โคงงเนื่องจากน้ำหนักของตัวสะพานและอุปกรณ์ยึดติดกับตัวสะพาน (Dead Load and Superimposed Dead Load) ระยะ โคงงเนื่องจากน้ำหนักของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆที่เคลื่อนที่บนโครงสร้างสะพานและน้ำหนักจากกองวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบนสะพาน (Live Load) ระยะ โคงงเนื่องจากแรงดึงในลวดอัดแรง (Prestress Force) และระยะ โคงงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด (Total Deflection) ในขณะที่ก่อสร้างที่สะพานมีลักษณะเป็นคานยื่นที่มีฐานรองรับยึดแน่นที่ตอม่อกลางสะพาน ดังแสดงในภาพที่ 51 – 55



ภาพที่ 51 ผลการวิเคราะห์ระยะ โกงของคานปลายยื่นสมดุลสองด้าน

Cantilever Beam Stage แสดงค่าระยะ โกงและมูมหมุนของคานปลายยื่นสมดุลสองด้าน โดยแยกเป็น 4 ส่วน คือ

- Dead Load and Superimposed Dead Load แสดงค่าระยะ โกงและมูมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่
- Live Load แสดงค่าระยะ โกงและมูมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร
- Prestress Force แสดงค่าระยะ โกงและมูมหมุนที่เกิดจากแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรง
- Total Deflection แสดงผลรวมค่าระยะ โกงและมูมหมุน

DEFLECTION AT POINTS FROM CANTILEVER BEAM STAGE DUE TO
DEAD LOAD AND SUPERIMPOSED DEAD LOAD

UNITS: METER & RADIAN
< LEFT SIDE >

START POINT : 10 END POINT : 48

POINT	DEFLECTION		ROTATION
	dx	dy	rz
10	0.00E+00	-1.43E-02	4.01E-04
11	0.00E+00	-1.31E-02	4.00E-04
12	0.00E+00	-1.19E-02	3.99E-04
13	0.00E+00	-1.07E-02	3.95E-04
14	0.00E+00	-9.49E-03	3.87E-04
15	0.00E+00	-8.34E-03	3.76E-04
16	0.00E+00	-7.24E-03	3.60E-04
17	0.00E+00	-6.18E-03	3.40E-04
18	0.00E+00	-5.20E-03	3.17E-04
19	0.00E+00	-4.28E-03	2.91E-04
20	0.00E+00	-3.45E-03	2.63E-04
21	0.00E+00	-2.71E-03	2.33E-04
22	0.00E+00	-2.05E-03	2.02E-04
23	0.00E+00	-1.49E-03	1.71E-04
24	0.00E+00	-1.02E-03	1.40E-04
25	0.00E+00	-6.47E-04	1.10E-04
26	0.00E+00	-3.59E-04	8.09E-05
27	0.00E+00	-1.58E-04	5.27E-05
28	0.00E+00	-3.93E-05	2.57E-05
29	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
30	0.00E+00	-3.95E-05	-2.58E-05
31	0.00E+00	-1.58E-04	-5.28E-05
32	0.00E+00	-3.60E-04	-8.09E-05
33	0.00E+00	-6.47E-04	-1.10E-04
34	0.00E+00	-1.02E-03	-1.40E-04
35	0.00E+00	-1.49E-03	-1.70E-04
36	0.00E+00	-2.04E-03	-2.00E-04
37	0.00E+00	-2.69E-03	-2.30E-04
38	0.00E+00	-3.43E-03	-2.59E-04
39	0.00E+00	-4.25E-03	-2.87E-04
40	0.00E+00	-5.15E-03	-3.12E-04
41	0.00E+00	-6.12E-03	-3.34E-04
42	0.00E+00	-7.15E-03	-3.53E-04
43	0.00E+00	-8.23E-03	-3.68E-04
44	0.00E+00	-9.36E-03	-3.80E-04
45	0.00E+00	-1.05E-02	-3.87E-04
46	0.00E+00	-1.17E-02	-3.91E-04
47	0.00E+00	-1.28E-02	-3.93E-04
48	0.00E+00	-1.40E-02	-3.93E-04

ภาพที่ 52 ระยะ โกงและมุมหมุนเนื่องจากน้ำหนักของตัวสะพานและอุปกรณ์ยึดติดกับตัวสะพาน
(Dead Load and Superimposed Dead Load) ของคานปลายยื่นสมดุลสองข้าง

DEFLECTION AT POINTS FROM CANTILEVER BEAM STAGE DUE TO LIVE LOAD

UNITS: METER & RADIAN
< LEFT SIDE >

START POINT : 10 END POINT : 48

POINT	DEFLECTIONS				ROTATIONS	
	UNIFORM LOAD		CONCENTRATED LOAD		UNIFORM LOAD	CONCENTRATED LOAD
	dx	dy	dx	dy	rz	rz
10	0.00E+00	-6.06E-04	0.00E+00	-2.97E-04	1.72E-05	1.04E-05
11	0.00E+00	-5.54E-04	0.00E+00	-2.65E-04	1.72E-05	1.03E-05
12	0.00E+00	-5.03E-04	0.00E+00	-2.35E-04	1.72E-05	1.01E-05
13	0.00E+00	-4.51E-04	0.00E+00	-2.05E-04	1.70E-05	9.64E-06
14	0.00E+00	-4.01E-04	0.00E+00	-1.77E-04	1.66E-05	9.08E-06
15	0.00E+00	-3.52E-04	0.00E+00	-1.51E-04	1.61E-05	8.42E-06
16	0.00E+00	-3.05E-04	0.00E+00	-1.27E-04	1.54E-05	7.68E-06
17	0.00E+00	-2.60E-04	0.00E+00	-1.05E-04	1.45E-05	6.91E-06
18	0.00E+00	-2.17E-04	0.00E+00	-8.52E-05	1.35E-05	6.12E-06
19	0.00E+00	-1.79E-04	0.00E+00	-6.80E-05	1.23E-05	5.34E-06
20	0.00E+00	-1.44E-04	0.00E+00	-5.31E-05	1.11E-05	4.59E-06
21	0.00E+00	-1.12E-04	0.00E+00	-4.03E-05	9.78E-06	3.87E-06
22	0.00E+00	-8.48E-05	0.00E+00	-2.97E-05	8.45E-06	3.21E-06
23	0.00E+00	-6.13E-05	0.00E+00	-2.10E-05	7.12E-06	2.60E-06
24	0.00E+00	-4.19E-05	0.00E+00	-1.40E-05	5.80E-06	2.04E-06
25	0.00E+00	-2.64E-05	0.00E+00	-8.61E-06	4.53E-06	1.54E-06
26	0.00E+00	-1.46E-05	0.00E+00	-4.66E-06	3.31E-06	1.09E-06
27	0.00E+00	-6.38E-06	0.00E+00	-2.00E-06	2.14E-06	6.82E-07
28	0.00E+00	-1.58E-06	0.00E+00	-4.86E-07	1.04E-06	3.21E-07
29	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
30	0.00E+00	-1.58E-06	0.00E+00	-4.85E-07	-1.03E-06	-3.20E-07
31	0.00E+00	-6.36E-06	0.00E+00	-1.99E-06	-2.13E-06	-6.79E-07
32	0.00E+00	-1.45E-05	0.00E+00	-4.63E-06	-3.28E-06	-1.08E-06
33	0.00E+00	-2.62E-05	0.00E+00	-8.55E-06	-4.49E-06	-1.53E-06
34	0.00E+00	-4.16E-05	0.00E+00	-1.39E-05	-5.74E-06	-2.02E-06
35	0.00E+00	-6.08E-05	0.00E+00	-2.08E-05	-7.02E-06	-2.56E-06
36	0.00E+00	-8.38E-05	0.00E+00	-2.94E-05	-8.32E-06	-3.16E-06
37	0.00E+00	-1.11E-04	0.00E+00	-3.98E-05	-9.61E-06	-3.80E-06
38	0.00E+00	-1.42E-04	0.00E+00	-5.23E-05	-1.09E-05	-4.49E-06
39	0.00E+00	-1.76E-04	0.00E+00	-6.68E-05	-1.21E-05	-5.21E-06
40	0.00E+00	-2.14E-04	0.00E+00	-8.36E-05	-1.32E-05	-5.96E-06
41	0.00E+00	-2.55E-04	0.00E+00	-1.03E-04	-1.42E-05	-6.72E-06
42	0.00E+00	-2.99E-04	0.00E+00	-1.24E-04	-1.50E-05	-7.47E-06
43	0.00E+00	-3.45E-04	0.00E+00	-1.47E-04	-1.57E-05	-8.17E-06
44	0.00E+00	-3.93E-04	0.00E+00	-1.73E-04	-1.62E-05	-8.82E-06
45	0.00E+00	-4.42E-04	0.00E+00	-2.00E-04	-1.65E-05	-9.36E-06
46	0.00E+00	-4.92E-04	0.00E+00	-2.29E-04	-1.67E-05	-9.78E-06
47	0.00E+00	-5.42E-04	0.00E+00	-2.59E-04	-1.68E-05	-1.00E-05
48	0.00E+00	-5.93E-04	0.00E+00	-2.89E-04	-1.68E-05	-1.01E-05

ภาพที่ 53 ระยะ โกงและมุมหมุนเนื่องจากน้ำหนักของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆที่เคลื่อนที่บน
โครงสร้างสะพานและน้ำหนักจากกองวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบนสะพาน
(Live Load) ของคานปลายยื่นสมคูลสองข้าง

DEFLECTION AT POINTS FROM CANTILEVER BEAM STAGE DUE TO PRESTRESS FORCE

UNITS: METER & RADIAN
< LEFT SIDE >

START POINT : 10 END POINT : 48

POINT	DEFLECTION		ROTATION
	dx	dy	
10	2.86E-03	-5.16E-03	2.74E-04
11	2.84E-03	-4.35E-03	2.67E-04
12	2.79E-03	-3.57E-03	2.53E-04
13	2.72E-03	-2.84E-03	2.33E-04
14	2.62E-03	-2.18E-03	2.07E-04
15	2.50E-03	-1.61E-03	1.78E-04
16	2.37E-03	-1.12E-03	1.47E-04
17	2.21E-03	-7.28E-04	1.14E-04
18	2.03E-03	-4.36E-04	8.08E-05
19	1.85E-03	-2.33E-04	5.49E-05
20	1.66E-03	-9.79E-05	3.50E-05
21	1.47E-03	-1.52E-05	2.02E-05
22	1.28E-03	2.95E-05	9.59E-06
23	1.09E-03	4.75E-05	2.46E-06
24	8.99E-04	4.83E-05	-1.93E-06
25	7.13E-04	3.92E-05	-4.15E-06
26	5.30E-04	2.60E-05	-4.70E-06
27	3.50E-04	1.30E-05	-3.98E-06
28	1.73E-04	3.49E-06	-2.33E-06
29	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
30	-1.38E-04	8.87E-06	5.91E-06
31	-2.77E-04	3.54E-05	1.18E-05
32	-4.18E-04	7.95E-05	1.76E-05
33	-5.59E-04	1.40E-04	2.30E-05
34	-7.01E-04	2.17E-04	2.79E-05
35	-8.43E-04	3.07E-04	3.20E-05
36	-9.84E-04	4.07E-04	3.50E-05
37	-1.12E-03	5.14E-04	3.65E-05
38	-1.26E-03	6.23E-04	3.59E-05
39	-1.40E-03	7.26E-04	3.27E-05
40	-1.53E-03	8.15E-04	2.64E-05
41	-1.66E-03	8.78E-04	1.62E-05
42	-1.79E-03	9.05E-04	1.46E-06
43	-1.89E-03	8.88E-04	-1.30E-05
44	-1.99E-03	8.28E-04	-2.67E-05
45	-2.06E-03	7.30E-04	-3.88E-05
46	-2.12E-03	5.99E-04	-4.86E-05
47	-2.16E-03	4.43E-04	-5.54E-05
48	-2.18E-03	2.71E-04	-5.90E-05

ภาพที่ 54 ระยะโก่งแถมมมุนเนื่องจากแรงดึงในลวดอัดแรง (Prestress Force) ของคานปลายยื่น
สมคูลสองด้าน

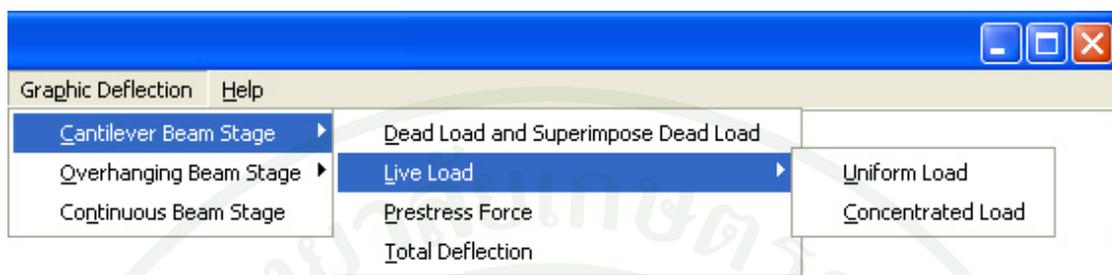
TOTAL DEFLECTION AT POINTS FROM CANTILEVER BEAM STAGE

START POINT : 10 END POINT : 48 UNITS: METER & RADIAN
< LEFT SIDE >

POINT	DEFLECTION		ROTATION
	dx	dy	
10	2.86E-03	-2.03E-02	7.02E-04
11	2.84E-03	-1.82E-02	6.95E-04
12	2.79E-03	-1.62E-02	6.79E-04
13	2.72E-03	-1.42E-02	6.54E-04
14	2.62E-03	-1.22E-02	6.20E-04
15	2.50E-03	-1.04E-02	5.78E-04
16	2.37E-03	-8.79E-03	5.29E-04
17	2.21E-03	-7.28E-03	4.75E-04
18	2.03E-03	-5.94E-03	4.17E-04
19	1.85E-03	-4.76E-03	3.63E-04
20	1.66E-03	-3.75E-03	3.13E-04
21	1.47E-03	-2.88E-03	2.67E-04
22	1.28E-03	-2.14E-03	2.23E-04
23	1.09E-03	-1.53E-03	1.83E-04
24	8.99E-04	-1.03E-03	1.46E-04
25	7.13E-04	-6.42E-04	1.12E-04
26	5.30E-04	-3.52E-04	8.06E-05
27	3.50E-04	-1.53E-04	5.15E-05
28	1.73E-04	-3.79E-05	2.47E-05
29	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
30	-1.38E-04	-3.27E-05	-2.12E-05
31	-2.77E-04	-1.31E-04	-4.38E-05
32	-4.18E-04	-2.99E-04	-6.77E-05
33	-5.59E-04	-5.41E-04	-9.30E-05
34	-7.01E-04	-8.61E-04	-1.20E-04
35	-8.43E-04	-1.26E-03	-1.48E-04
36	-9.84E-04	-1.75E-03	-1.77E-04
37	-1.12E-03	-2.33E-03	-2.07E-04
38	-1.26E-03	-3.00E-03	-2.39E-04
39	-1.40E-03	-3.76E-03	-2.71E-04
40	-1.53E-03	-4.63E-03	-3.04E-04
41	-1.66E-03	-5.60E-03	-3.39E-04
42	-1.79E-03	-6.67E-03	-3.74E-04
43	-1.89E-03	-7.84E-03	-4.05E-04
44	-1.99E-03	-9.09E-03	-4.31E-04
45	-2.06E-03	-1.04E-02	-4.52E-04
46	-2.12E-03	-1.18E-02	-4.66E-04
47	-2.16E-03	-1.32E-02	-4.75E-04
48	-2.18E-03	-1.46E-02	-4.79E-04

ภาพที่ 55 ระยะ โกงและมุมหมุนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด (Total Deflection) ของกาน
ปลายยื่นสมดุลสองด้าน

การแสดงผลระยะโก่งและมุมหมุนแบบแผนภาพ Graphic Deflection ในขั้นตอนการก่อสร้าง สะพานที่มีลักษณะเป็นคานปลายยื่นสมดุสองด้าน ในภาพที่ 56 – 59



ภาพที่ 56 เมนูย่อยของ Graphic Deflection ในส่วนของ Cantilever Beam Stage

Cantilever Beam Stage แสดงระยะ โก่งและมุมหมุนของคานปลายยื่นสมดุสองด้าน โดยแยกเป็น 4 ส่วน คือ

- Dead Load and Superimposed Dead Load แสดงระยะ โก่งและมุมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่

Horizontal Displacement ระยะโก่งในแนวราบ

Vertical Displacement ระยะโก่งในแนวตั้ง

Rotation มุมหมุน

- Live Load แสดงเส้นระยะโก่งและมุมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร

Horizontal Displacement ระยะโก่งในแนวราบ

Vertical Displacement ระยะโก่งในแนวตั้ง

Rotation มุมหมุน

- Prestress Force แสดงระยะ โก่งและมุมหมุนที่เกิดจากแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรง

Horizontal Displacement ระยะโก่งในแนวราบ

Vertical Displacement ระยะโก่งในแนวตั้ง

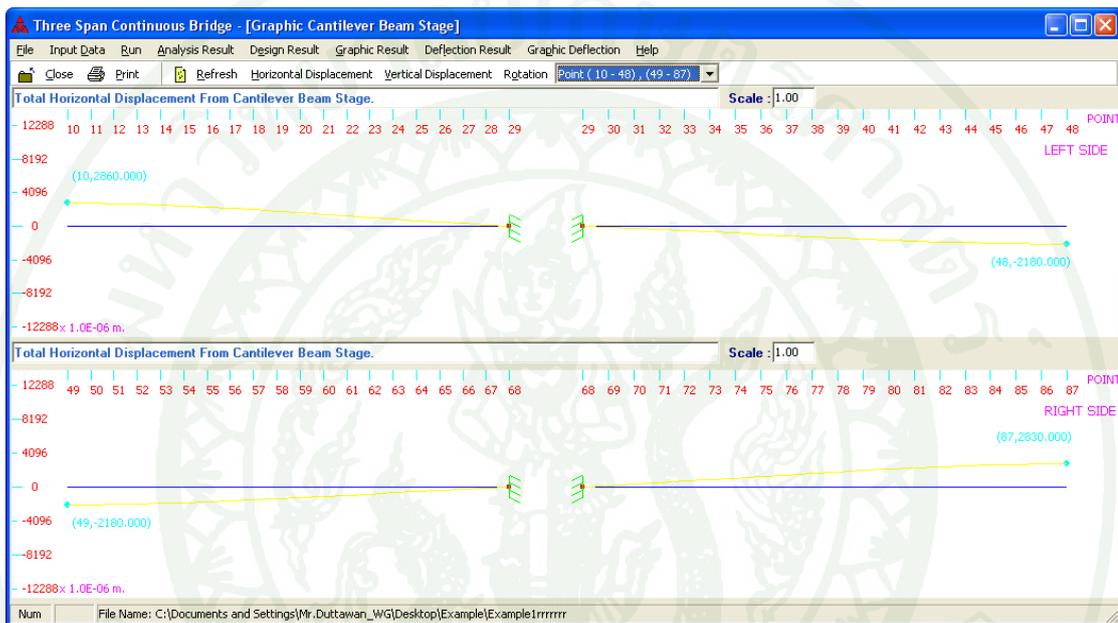
Rotation มุมหมุน

- Total Deflection แสดงผลรวมของระยะโก่งและมุมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรง

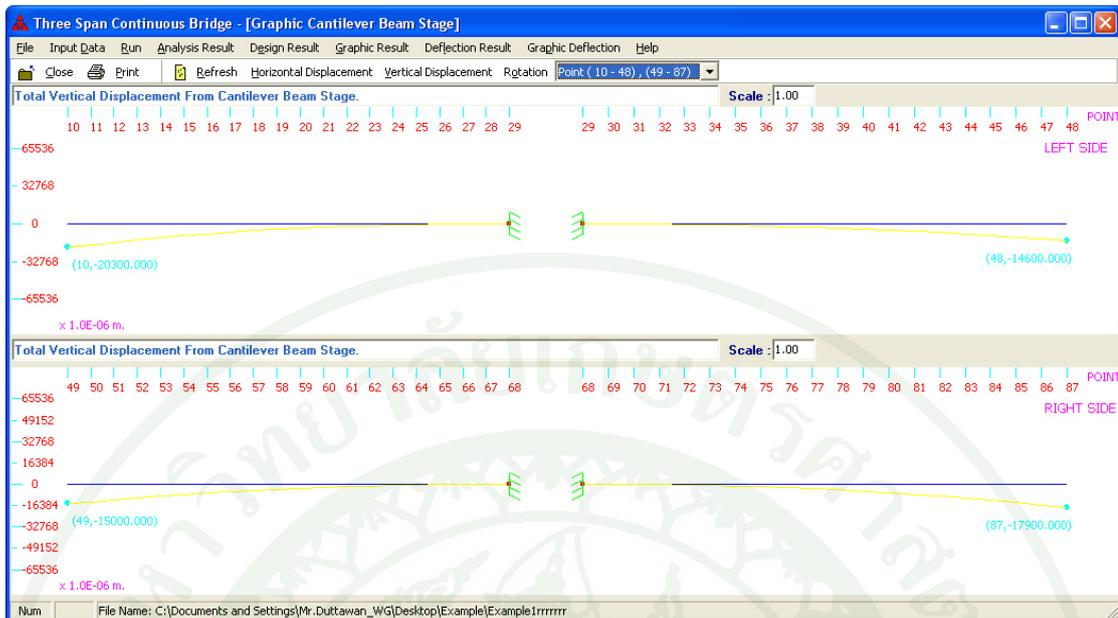
Horizontal Displacement ระยะโก่งในแนวราบ

Vertical Displacement ระยะโก่งในแนวตั้ง

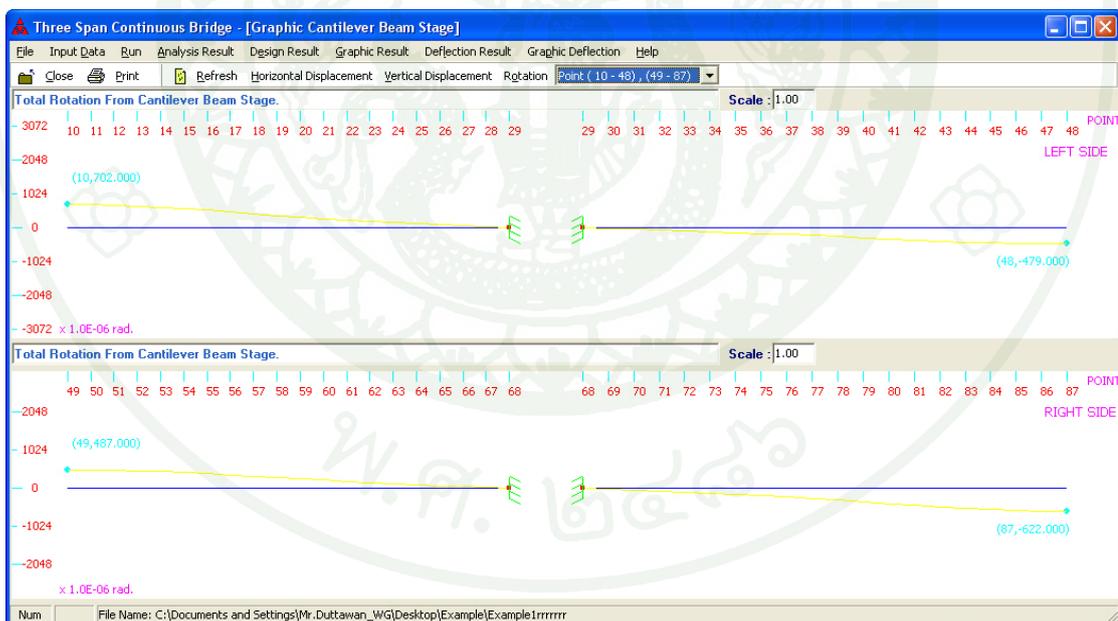
Rotation มุมหมุน



ภาพที่ 57 ระยะโก่งในแนวราบที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานปลายยื่นสมดุลสองด้าน

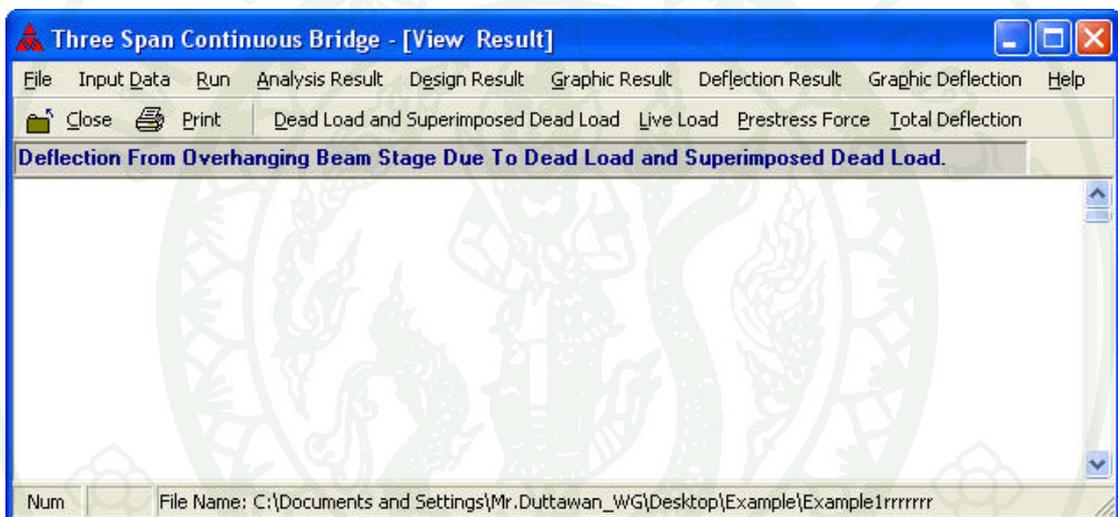


ภาพที่ 58 ระยะโก่งในแนวตั้งที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน



ภาพที่ 59 มุมหมุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน

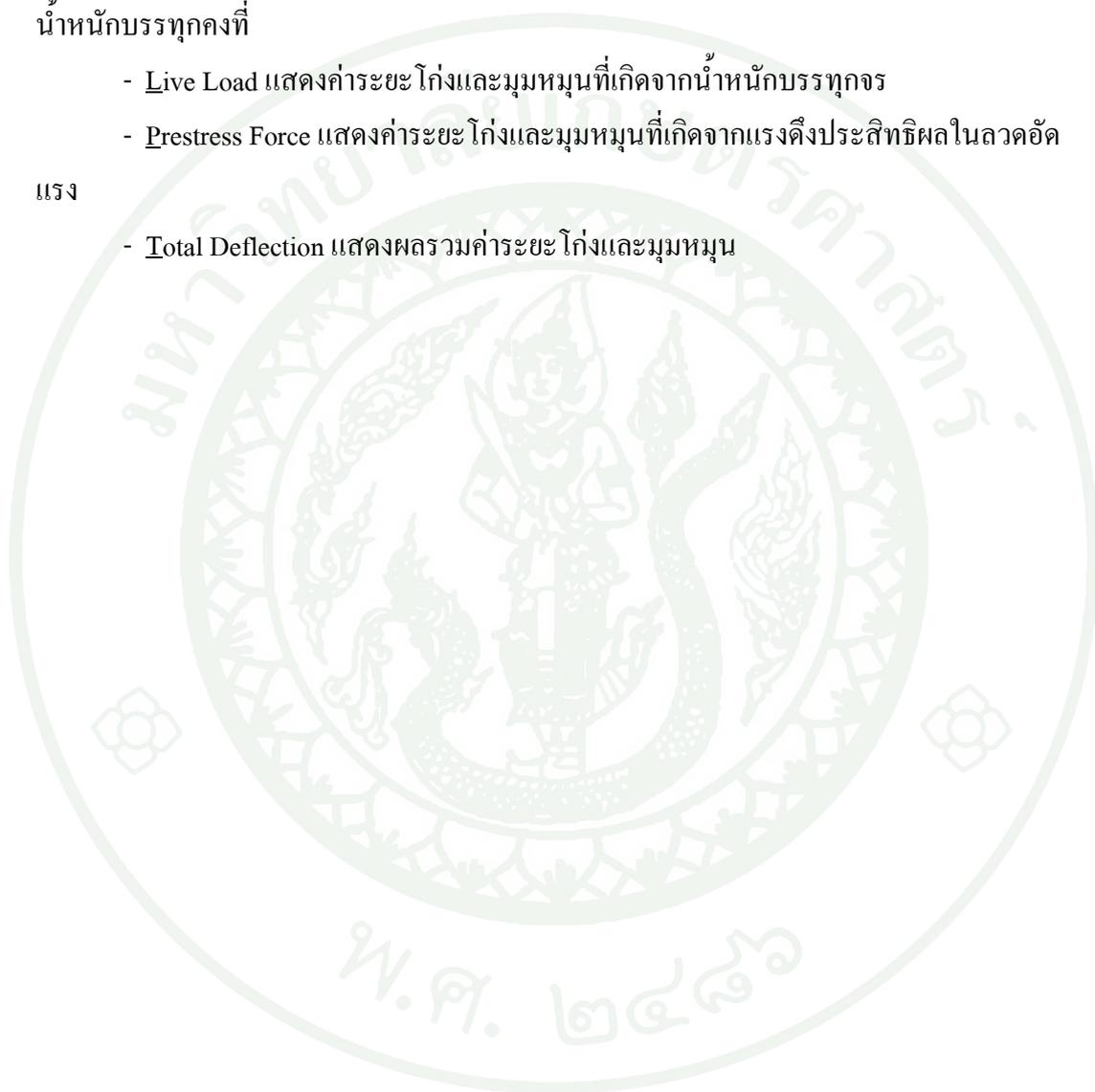
7.2 ระยะเวลาโก่งและมูมหมุนของคานช่วงเดี่ยวยาวปลายยื่น (Overhanging Beam Stage) เป็นการวิเคราะห์ระยะ โกงเนื่องจากน้ำหนักของตัวสะพานและอุปกรณ์ยึดติดกับตัวสะพาน (Dead Load and Superimposed Dead Load) ระยะ โกงเนื่องจากน้ำหนักของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆที่เคลื่อนที่บนโครงสร้างสะพานและน้ำหนักจากกองวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบนสะพาน (Live Load) ระยะ โกงเนื่องจากแรงดึงในลวดอัดแรง (Prestress Force) ระยะ โกงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด (Total Deflection) ในขณะที่ก่อสร้างที่สะพานมีลักษณะเป็นคานช่วงเดี่ยวยาวปลายยื่นมีฐานรองรับยึดหมุนและยึดหมุนเคลื่อนที่ที่ต่อม่อกลางสะพานและต่อม่อปลายสะพาน ก่อนที่ปลายยื่นทั้งสองข้างของคานดังกล่าวมาบรรจบกันที่กึ่งกลางคานสะพานช่วงกลาง ดังแสดงในภาพที่ 60 – 64



ภาพที่ 60 ผลการวิเคราะห์ระยะ โกงของคานช่วงเดี่ยวยาวปลายยื่น

Overhanging Beam Stage แสดงค่าระยะ โกงและมูมหมุนของคานช่วงเดี่ยวปลายยื่น โดยแยกเป็น 4 ส่วน คือ

- Dead Load and Superimposed Dead Load แสดงค่าระยะ โกงและมูมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่
- Live Load แสดงค่าระยะ โกงและมูมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร
- Prestress Force แสดงค่าระยะ โกงและมูมหมุนที่เกิดจากแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรง
- Total Deflection แสดงผลรวมค่าระยะ โกงและมูมหมุน



DEFLECTION AT POINTS FROM OVERHANGING BEAM STAGE DUE TO
DEAD LOAD AND SUPERIMPOSED DEAD LOAD

ROLLER SUPPORT AT POINT 9 UNITS: METER & RADIAN
< LEFT SIDE >

POINT	DEFLECTION		ROTATION
	dx	dy	rz
9	0.00E+00	0.00E+00	1.43E-04
10	0.00E+00	4.28E-04	1.43E-04
11	0.00E+00	8.58E-04	1.43E-04
12	0.00E+00	1.29E-03	1.42E-04
13	0.00E+00	1.71E-03	1.38E-04
14	0.00E+00	2.11E-03	1.31E-04
15	0.00E+00	2.49E-03	1.19E-04
16	0.00E+00	2.82E-03	1.03E-04
17	0.00E+00	3.11E-03	8.35E-05
18	0.00E+00	3.32E-03	6.02E-05
19	0.00E+00	3.47E-03	3.38E-05
20	0.00E+00	3.53E-03	5.29E-06
21	0.00E+00	3.50E-03	-2.48E-05
22	0.00E+00	3.38E-03	-5.57E-05
23	0.00E+00	3.17E-03	-8.70E-05
24	0.00E+00	2.86E-03	-1.18E-04
25	0.00E+00	2.46E-03	-1.48E-04
26	0.00E+00	1.97E-03	-1.78E-04
27	0.00E+00	1.40E-03	-2.06E-04
28	0.00E+00	7.39E-04	-2.34E-04
29	0.00E+00	0.00E+00	-2.59E-04
30	0.00E+00	-8.18E-04	-2.85E-04
31	0.00E+00	-1.71E-03	-3.12E-04
32	0.00E+00	-2.69E-03	-3.40E-04
33	0.00E+00	-3.76E-03	-3.69E-04
34	0.00E+00	-4.91E-03	-3.99E-04
35	0.00E+00	-6.16E-03	-4.29E-04
36	0.00E+00	-7.49E-03	-4.60E-04
37	0.00E+00	-8.92E-03	-4.90E-04
38	0.00E+00	-1.04E-02	-5.19E-04
39	0.00E+00	-1.20E-02	-5.46E-04
40	0.00E+00	-1.37E-02	-5.71E-04
41	0.00E+00	-1.55E-02	-5.94E-04
42	0.00E+00	-1.73E-02	-6.13E-04
43	0.00E+00	-1.91E-02	-6.28E-04
44	0.00E+00	-2.10E-02	-6.39E-04
45	0.00E+00	-2.30E-02	-6.46E-04
46	0.00E+00	-2.49E-02	-6.50E-04
47	0.00E+00	-2.69E-02	-6.52E-04
48	0.00E+00	-2.88E-02	-6.52E-04

ภาพที่ 61 ระยะ โกงและมุมหมุนเนื่องจากน้ำหนักของตัวสะพานและอุปกรณ์ยึดติดกับตัวสะพาน
(Dead Load and Superimposed Dead Load) ของกานช่วงเดี่ยวยาวปลายยื่น

DEFLECTION AT POINTS FROM OVERHANGING BEAM STAGE DUE TO LIVE LOAD

ROLLER SUPPORT AT POINT 9 UNITS: METER & RADIAN
< LEFT SIDE >

POINT	DEFLECTIONS				ROTATIONS	
	UNIFORM LOAD dx	UNIFORM LOAD dy	CONCENTRATED LOAD dx	CONCENTRATED LOAD dy	UNIFORM LOAD rz	CONCENTRATED LOAD rz
9	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.13E-06	5.85E-06
10	0.00E+00	1.84E-05	0.00E+00	1.74E-05	6.15E-06	5.76E-06
11	0.00E+00	3.69E-05	0.00E+00	3.44E-05	6.16E-06	5.50E-06
12	0.00E+00	5.53E-05	0.00E+00	5.03E-05	6.12E-06	5.08E-06
13	0.00E+00	7.35E-05	0.00E+00	6.47E-05	5.96E-06	4.51E-06
14	0.00E+00	9.09E-05	0.00E+00	7.72E-05	5.63E-06	3.82E-06
15	0.00E+00	1.07E-04	0.00E+00	8.76E-05	5.13E-06	3.05E-06
16	0.00E+00	1.22E-04	0.00E+00	9.55E-05	4.44E-06	2.23E-06
17	0.00E+00	1.34E-04	0.00E+00	1.01E-04	3.57E-06	1.38E-06
18	0.00E+00	1.43E-04	0.00E+00	1.04E-04	2.54E-06	5.25E-07
19	0.00E+00	1.49E-04	0.00E+00	1.04E-04	1.40E-06	-3.02E-07
20	0.00E+00	1.51E-04	0.00E+00	1.02E-04	1.56E-07	-1.09E-06
21	0.00E+00	1.50E-04	0.00E+00	9.78E-05	-1.14E-06	-1.83E-06
22	0.00E+00	1.44E-04	0.00E+00	9.13E-05	-2.47E-06	-2.52E-06
23	0.00E+00	1.35E-04	0.00E+00	8.28E-05	-3.80E-06	-3.14E-06
24	0.00E+00	1.22E-04	0.00E+00	7.25E-05	-5.11E-06	-3.71E-06
25	0.00E+00	1.05E-04	0.00E+00	6.06E-05	-6.38E-06	-4.22E-06
26	0.00E+00	8.36E-05	0.00E+00	4.73E-05	-7.61E-06	-4.68E-06
27	0.00E+00	5.91E-05	0.00E+00	3.26E-05	-8.77E-06	-5.09E-06
28	0.00E+00	3.11E-05	0.00E+00	1.68E-05	-9.87E-06	-5.45E-06
29	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.09E-05	-5.77E-06
30	0.00E+00	-3.43E-05	0.00E+00	-1.78E-05	-1.19E-05	-6.09E-06
31	0.00E+00	-7.18E-05	0.00E+00	-3.66E-05	-1.30E-05	-6.45E-06
32	0.00E+00	-1.13E-04	0.00E+00	-5.66E-05	-1.42E-05	-6.85E-06
33	0.00E+00	-1.57E-04	0.00E+00	-7.78E-05	-1.54E-05	-7.30E-06
34	0.00E+00	-2.05E-04	0.00E+00	-1.00E-04	-1.66E-05	-7.79E-06
35	0.00E+00	-2.57E-04	0.00E+00	-1.25E-04	-1.79E-05	-8.34E-06
36	0.00E+00	-3.13E-04	0.00E+00	-1.51E-04	-1.92E-05	-8.93E-06
37	0.00E+00	-3.73E-04	0.00E+00	-1.78E-04	-2.05E-05	-9.57E-06
38	0.00E+00	-4.36E-04	0.00E+00	-2.08E-04	-2.18E-05	-1.03E-05
39	0.00E+00	-5.03E-04	0.00E+00	-2.40E-04	-2.30E-05	-1.10E-05
40	0.00E+00	-5.74E-04	0.00E+00	-2.74E-04	-2.41E-05	-1.17E-05
41	0.00E+00	-6.48E-04	0.00E+00	-3.10E-04	-2.51E-05	-1.25E-05
42	0.00E+00	-7.24E-04	0.00E+00	-3.49E-04	-2.59E-05	-1.32E-05
43	0.00E+00	-8.03E-04	0.00E+00	-3.90E-04	-2.66E-05	-1.39E-05
44	0.00E+00	-8.84E-04	0.00E+00	-4.33E-04	-2.71E-05	-1.46E-05
45	0.00E+00	-9.66E-04	0.00E+00	-4.77E-04	-2.75E-05	-1.51E-05
46	0.00E+00	-1.05E-03	0.00E+00	-5.23E-04	-2.76E-05	-1.55E-05
47	0.00E+00	-1.13E-03	0.00E+00	-5.70E-04	-2.77E-05	-1.58E-05
48	0.00E+00	-1.21E-03	0.00E+00	-6.18E-04	-2.77E-05	-1.59E-05

ภาพที่ 62 ระยะโก่งและมุมหมุนเนื่องจากน้ำหนักของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆที่เคลื่อนที่บน
โครงสร้างสะพานและน้ำหนักจากกองวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบนสะพาน
(Live Load) ของคานช่วงเดียวปลายยื่น

DEFLECTION AT POINTS FROM OVERHANGING BEAM STAGE DUE TO PRESTRESS FORCE

UNITS: METER & RADIAN
< LEFT SIDE >

ROLLER SUPPORT AT POINT 9

POINT	DEFLECTION		ROTATION
	dx	dy	rz
9	3.10E-03	0.00E+00	3.97E-04
10	3.09E-03	1.17E-03	3.84E-04
11	3.05E-03	2.29E-03	3.59E-04
12	2.98E-03	3.31E-03	3.24E-04
13	2.90E-03	4.22E-03	2.79E-04
14	2.79E-03	4.98E-03	2.27E-04
15	2.66E-03	5.58E-03	1.70E-04
16	2.51E-03	6.00E-03	1.10E-04
17	2.34E-03	6.23E-03	4.86E-05
18	2.15E-03	6.29E-03	-1.18E-05
19	1.95E-03	6.18E-03	-6.38E-05
20	1.75E-03	5.92E-03	-1.08E-04
21	1.54E-03	5.54E-03	-1.45E-04
22	1.34E-03	5.06E-03	-1.77E-04
23	1.14E-03	4.49E-03	-2.02E-04
24	9.44E-04	3.85E-03	-2.23E-04
25	7.49E-04	3.16E-03	-2.40E-04
26	5.56E-04	2.42E-03	-2.54E-04
27	3.67E-04	1.64E-03	-2.65E-04
28	1.82E-04	8.30E-04	-2.74E-04
29	0.00E+00	0.00E+00	-2.80E-04
30	1.38E-04	-8.50E-04	-2.86E-04
31	2.77E-04	-1.72E-03	-2.92E-04
32	4.18E-04	-2.60E-03	-2.98E-04
33	5.59E-04	-3.50E-03	-3.03E-04
34	7.01E-04	-4.42E-03	-3.08E-04
35	8.43E-04	-5.35E-03	-3.12E-04
36	9.84E-04	-6.29E-03	-3.15E-04
37	1.12E-03	-7.24E-03	-3.17E-04
38	1.26E-03	-8.19E-03	-3.16E-04
39	1.40E-03	-9.13E-03	-3.13E-04
40	1.53E-03	-1.01E-02	-3.07E-04
41	1.66E-03	-1.10E-02	-2.96E-04
42	1.79E-03	-1.18E-02	-2.82E-04
43	1.89E-03	-1.27E-02	-2.67E-04
44	1.99E-03	-1.34E-02	-2.54E-04
45	2.06E-03	-1.42E-02	-2.41E-04
46	2.12E-03	-1.49E-02	-2.32E-04
47	2.16E-03	-1.56E-02	-2.25E-04
48	2.18E-03	-1.62E-02	-2.21E-04

ภาพที่ 63 ระยะโก่งและมุมหมุนเนื่องจากแรงดึงในลวดอัดแรง (Prestress Force) ของคานช่วง
เดี่ยวยาวปลายยื่น

TOTAL DEFLECTION AT POINTS FROM OVERHANGING BEAM STAGE

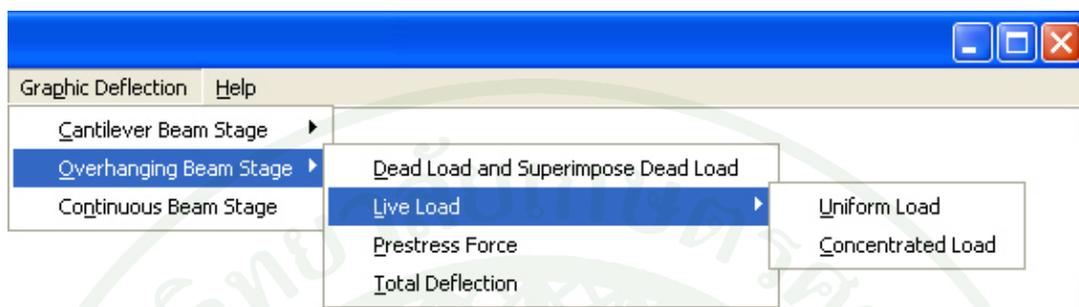
UNITS: METER & RADIAN
< LEFT SIDE >

ROLLER SUPPORT AT POINT 9

POINT	DEFLECTION		ROTATION
	dx	dy	rz
9	3.10E-03	0.00E+00	5.51E-04
10	3.09E-03	1.64E-03	5.39E-04
11	3.05E-03	3.22E-03	5.14E-04
12	2.98E-03	4.70E-03	4.77E-04
13	2.90E-03	6.06E-03	4.28E-04
14	2.79E-03	7.26E-03	3.68E-04
15	2.66E-03	8.26E-03	2.97E-04
16	2.51E-03	9.04E-03	2.20E-04
17	2.34E-03	9.58E-03	1.37E-04
18	2.15E-03	9.86E-03	5.15E-05
19	1.95E-03	9.90E-03	-2.89E-05
20	1.75E-03	9.70E-03	-1.04E-04
21	1.54E-03	9.29E-03	-1.73E-04
22	1.34E-03	8.67E-03	-2.37E-04
23	1.14E-03	7.87E-03	-2.96E-04
24	9.44E-04	6.91E-03	-3.50E-04
25	7.49E-04	5.78E-03	-3.99E-04
26	5.56E-04	4.52E-03	-4.44E-04
27	3.67E-04	3.13E-03	-4.85E-04
28	1.82E-04	1.62E-03	-5.22E-04
29	0.00E+00	0.00E+00	-5.56E-04
30	1.38E-04	-1.72E-03	-5.89E-04
31	2.77E-04	-3.54E-03	-6.24E-04
32	4.18E-04	-5.47E-03	-6.59E-04
33	5.59E-04	-7.50E-03	-6.95E-04
34	7.01E-04	-9.64E-03	-7.32E-04
35	8.43E-04	-1.19E-02	-7.68E-04
36	9.84E-04	-1.42E-02	-8.03E-04
37	1.12E-03	-1.67E-02	-8.36E-04
38	1.26E-03	-1.93E-02	-8.67E-04
39	1.40E-03	-2.19E-02	-8.93E-04
40	1.53E-03	-2.46E-02	-9.14E-04
41	1.66E-03	-2.74E-02	-9.28E-04
42	1.79E-03	-3.02E-02	-9.33E-04
43	1.89E-03	-3.30E-02	-9.35E-04
44	1.99E-03	-3.58E-02	-9.34E-04
45	2.06E-03	-3.86E-02	-9.30E-04
46	2.12E-03	-4.14E-02	-9.25E-04
47	2.16E-03	-4.41E-02	-9.20E-04
48	2.18E-03	-4.69E-02	-9.17E-04

ภาพที่ 64 ระยะ โกงและมุมหมุนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด (Total Deflection) ของกานช่วง เดี่ยวปลายยื่น

การแสดงผลระยะ โกงและมุมหมุนแบบแผนภาพ Graphic Deflection ในขั้นตอนการก่อสร้าง สะพานที่มีลักษณะเป็นคานช่วงเดี่ยวยาวปลายยื่น ในภาพที่ 65 – 68



ภาพที่ 65 เมนูย่อยของ Graphic Deflection ในส่วนของ Overhanging Beam Stage

Cantilever Beam Stage แสดงระยะ โกงและมุมหมุนของคานปลายยื่นสมดุลสองด้าน โดยแยกเป็น 4 ส่วน คือ

- Dead Load and Superimposed Dead Load แสดงระยะ โกงและมุมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่

Horizontal Displacement ระยะ โกงในแนวนราบ

Vertical Displacement ระยะ โกงในแนวตั้ง

Rotation มุมหมุน

- Live Load แสดงเส้นระยะ โกงและมุมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร

Horizontal Displacement ระยะ โกงในแนวนราบ

Vertical Displacement ระยะ โกงในแนวตั้ง

Rotation มุมหมุน

- Prestress Force แสดงระยะ โกงและมุมหมุนที่เกิดจากแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรง

Horizontal Displacement ระยะ โกงในแนวนราบ

Vertical Displacement ระยะ โกงในแนวตั้ง

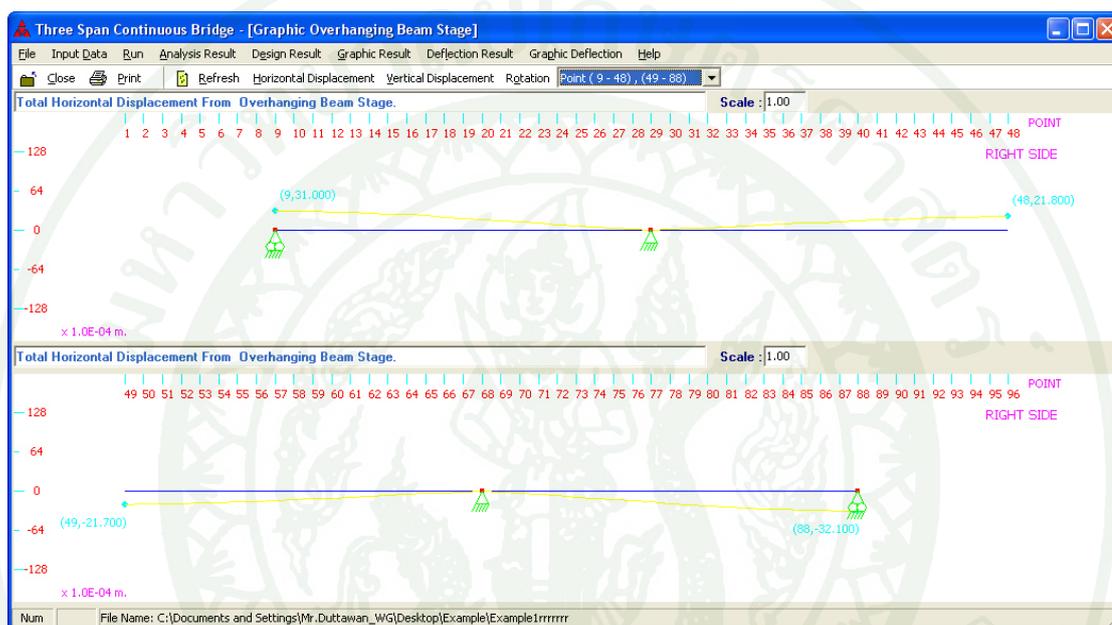
Rotation มุมหมุน

- Total Deflection แสดงผลรวมของระยะโก่งและมุมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรง

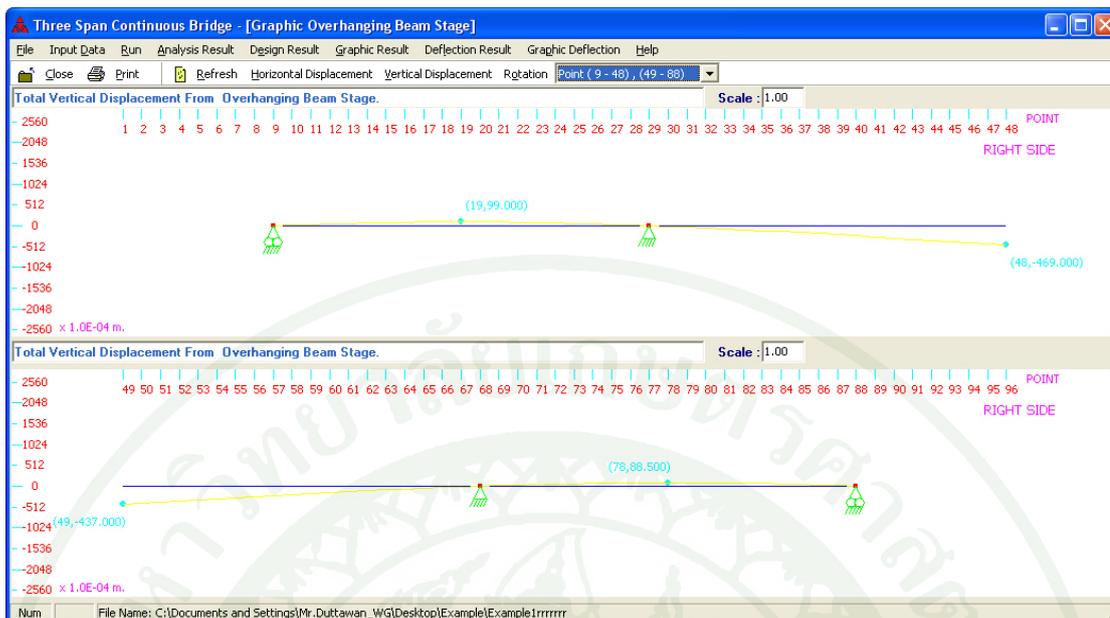
Horizontal Displacement ระยะโก่งในแนวราบ

Vertical Displacement ระยะโก่งในแนวดิ่ง

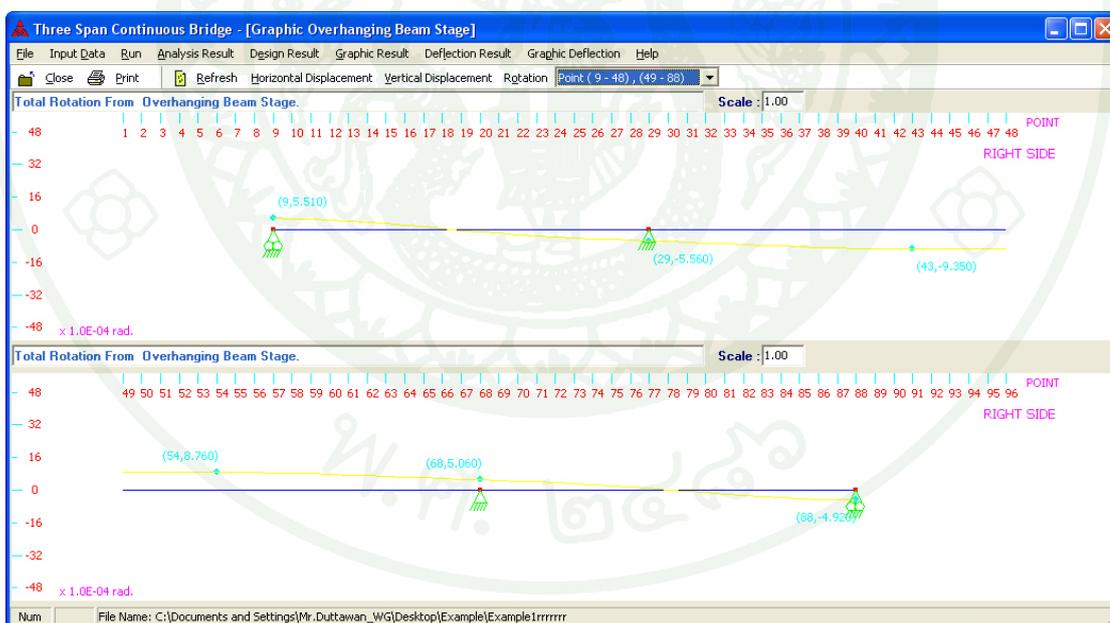
Rotation มุมหมุน



ภาพที่ 66 ระยะโก่งในแนวราบที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานช่วงเดียวปลายยื่น

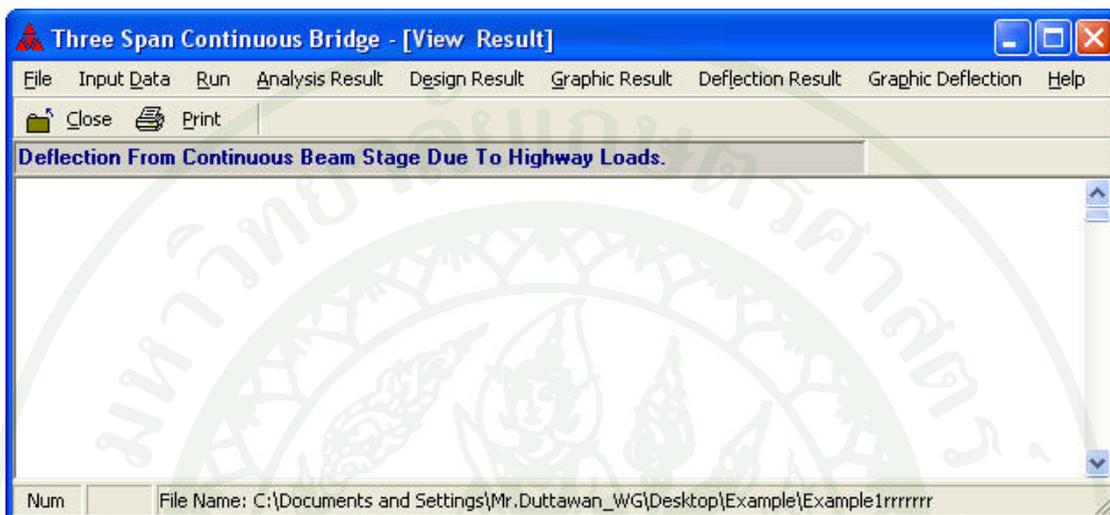


ภาพที่ 67 ระยะโก่งในแนวตั้งที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานช่วงเดียวปลายยื่น



ภาพที่ 68 มุมหมุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานช่วงเดียวปลายยื่น

7.3 ระยะเวลาของคานต่อเนื่องสามช่วง (Continuous Beam Stage) เป็นการวิเคราะห์ระยะโค้งเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก HS20-44 แบบแผ่เทียบเท่า (Equivalent Lane Load) ที่เคลื่อนที่ไปบนสะพานเมื่อสะพานก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในภาพที่ 69 และ 70



ภาพที่ 69 ผลการวิเคราะห์ระยะโค้งของคานต่อเนื่องสามช่วง

DEFLECTION AT POINTS FROM CONTINUOUS BEAM STAGE DUE TO AASHTO LANE LOAD

UNIFORMLY DISTRIBUTED LOAD ON LEFT AND RIGHT END SPANS UNITS: METER & RADIAN
 CONCENTRATED LOAD AT POINT 1 < LEFT SIDE >

POINT	DEFLECTION dy	ROTATION rz
1	0.00E+00	-1.18E-04
2	-3.53E-04	-1.17E-04
3	-6.99E-04	-1.13E-04
4	-1.03E-03	-1.08E-04
5	-1.35E-03	-1.01E-04
6	-1.64E-03	-9.20E-05
7	-1.90E-03	-8.17E-05
8	-2.12E-03	-7.02E-05
9	-2.32E-03	-5.75E-05
10	-2.47E-03	-4.41E-05
11	-2.58E-03	-3.00E-05
12	-2.65E-03	-1.57E-05
13	-2.68E-03	-1.80E-06
14	-2.66E-03	1.14E-05
15	-2.61E-03	2.34E-05
16	-2.52E-03	3.42E-05
17	-2.41E-03	4.34E-05
18	-2.26E-03	5.12E-05
19	-2.10E-03	5.76E-05
20	-1.92E-03	6.26E-05
21	-1.73E-03	6.65E-05
22	-1.52E-03	6.93E-05
23	-1.31E-03	7.13E-05
24	-1.10E-03	7.25E-05
25	-8.77E-04	7.32E-05
26	-6.57E-04	7.34E-05
27	-4.37E-04	7.32E-05
28	-2.18E-04	7.28E-05
29	0.00E+00	7.22E-05
30	2.16E-04	7.15E-05
31	4.29E-04	7.06E-05
32	6.39E-04	6.96E-05
33	8.46E-04	6.84E-05
34	1.05E-03	6.69E-05
35	1.25E-03	6.52E-05
36	1.44E-03	6.32E-05
37	1.63E-03	6.09E-05
38	1.80E-03	5.81E-05
39	1.97E-03	5.49E-05
40	2.13E-03	5.12E-05
41	2.28E-03	4.70E-05
42	2.41E-03	4.23E-05
43	2.53E-03	3.69E-05
44	2.63E-03	3.10E-05
45	2.72E-03	2.46E-05
46	2.78E-03	1.77E-05
47	2.82E-03	1.06E-05
48	2.84E-03	3.16E-06
49	2.84E-03	-4.29E-06
50	2.82E-03	-1.16E-05
51	2.77E-03	-1.88E-05
52	2.71E-03	-2.55E-05
53	2.62E-03	-3.18E-05
54	2.52E-03	-3.76E-05
55	2.40E-03	-4.27E-05
56	2.26E-03	-4.73E-05

ภาพที่ 70 ระยะโค้งและมุมหมุนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่เทียบเท่า (Equivalent Lane Load) ของกานต่อเนื่องสามช่วง

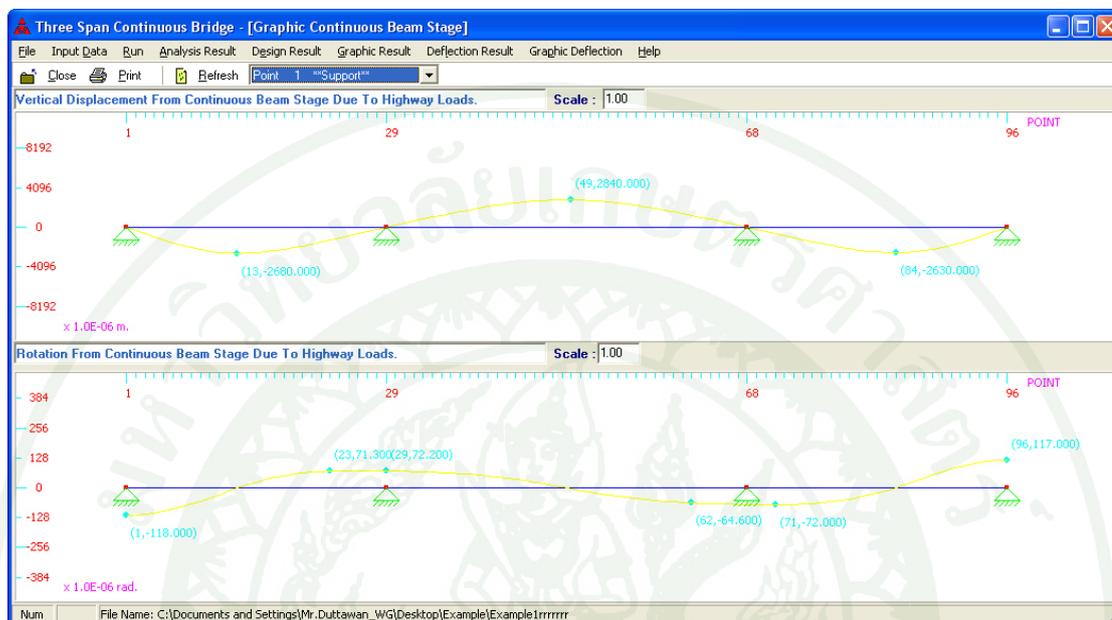
DEFLECTION AT POINTS FROM CONTINUOUS BEAM STAGE DUE TO AASHTO LANE LOAD

UNIFORMLY DISTRIBUTED LOAD ON LEFT AND RIGHT END SPANS UNITS: METER & RADIAN
 CONCENTRATED LOAD AT POINT 1 < LEFT SIDE >

POINT	DEFLECTION dy	ROTATION rz
57	2.11E-03	-5.14E-05
58	1.95E-03	-5.49E-05
59	1.78E-03	-5.79E-05
60	1.61E-03	-6.05E-05
61	1.42E-03	-6.28E-05
62	1.23E-03	-6.46E-05
63	1.03E-03	-6.62E-05
64	8.34E-04	-6.76E-05
65	6.30E-04	-6.87E-05
66	4.22E-04	-6.96E-05
67	2.12E-04	-7.04E-05
68	0.00E+00	-7.11E-05
69	-2.14E-04	-7.16E-05
70	-4.30E-04	-7.20E-05
71	-6.46E-04	-7.20E-05
72	-8.61E-04	-7.17E-05
73	-1.08E-03	-7.10E-05
74	-1.29E-03	-6.96E-05
75	-1.49E-03	-6.76E-05
76	-1.69E-03	-6.48E-05
77	-1.88E-03	-6.10E-05
78	-2.06E-03	-5.62E-05
79	-2.22E-03	-5.01E-05
80	-2.35E-03	-4.26E-05
81	-2.47E-03	-3.38E-05
82	-2.56E-03	-2.36E-05
83	-2.61E-03	-1.21E-05
84	-2.63E-03	5.91E-07
85	-2.60E-03	1.41E-05
86	-2.54E-03	2.81E-05
87	-2.44E-03	4.22E-05
88	-2.29E-03	5.58E-05
89	-2.10E-03	6.86E-05
90	-1.88E-03	8.03E-05
91	-1.62E-03	9.08E-05
92	-1.33E-03	9.98E-05
93	-1.02E-03	1.07E-04
94	-6.93E-04	1.13E-04
95	-3.50E-04	1.16E-04
96	0.00E+00	1.17E-04

ภาพที่ 70 (ต่อ)

การแสดงผลระยะ โคงงและมุมหมุนแบบแผนภาพ Graphic Deflection ในขั้นตอนการก่อสร้าง สะพานที่มีลักษณะเป็นคานต่อเนื่องสามช่วง ในภาพที่ 71



ภาพที่ 71 ระยะ โคงงและมุมหมุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกของคานต่อเนื่องสามช่วง

วิจารณ์

จากการวิเคราะห์ระยะ โกงทั้งหมดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกต่างๆรวมทั้งการอัดแรงในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง พบว่า

1. ขั้นตอนคานปลายยื่นสมดุลสองข้าง มีการโก่งตัวในลักษณะโก่งตัวลง โดยที่ระยะ โกงจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆตามระยะห่างจากตอม่อกลางสะพาน และมีค่ามากที่สุดที่ปลายอิสระ โดยที่ในขั้นตอนคานปลายยื่นสมดุลสองข้าง น้ำหนักบรรทุกคงที่ ทำให้เกิดระยะ โกงที่ปลายอิสระมากที่สุด รองลงมาเป็นแรงดึงในลวดอัดแรง น้ำหนักบรรทุกจร และน้ำหนักบรรทุกคงที่ส่วนเพิ่ม ตามลำดับ สำหรับแรงดึงในลวดอัดแรงมีผลทำให้เกิดการหดตัวทั้งในแนวราบและการโก่งตัวในแนวตั้ง และระยะ โกงตัวขึ้นจากการอัดแรงมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับระยะ โกงลงทั้งหมดที่ปลายอิสระ

2. ขั้นตอนคานช่วงเดียวปลายยื่น มีการโก่งตัวทั้งในลักษณะโก่งขึ้นและโก่งลง การโก่งขึ้นจะเกิดขึ้นในช่วงของตอม่อปลายสะพานกับตอม่อกลางสะพาน และมีค่ามากที่สุดที่บริเวณกึ่งกลางระหว่างตอม่อปลายสะพานกับตอม่อกลางสะพาน ส่วนการโก่งลงจะเกิดขึ้นในช่วงของตอม่อกลางสะพานกับปลายอิสระ และมีค่ามากที่สุดที่ปลายอิสระ โดยที่ในขั้นตอนคานช่วงเดียวปลายยื่น น้ำหนักบรรทุกคงที่ ทำให้เกิดระยะ โกงที่ปลายอิสระมากที่สุด รองลงมาเป็นแรงดึงในลวดอัดแรง น้ำหนักบรรทุกจร และน้ำหนักบรรทุกคงที่ส่วนเพิ่ม ตามลำดับ สำหรับแรงดึงในลวดอัดแรงมีผลทำให้เกิดการหดตัวทั้งในแนวราบและการโก่งตัวในแนวตั้ง

3. ขั้นตอนคานต่อเนื่องสามช่วง มีการโก่งตัวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกทั้งในลักษณะโก่งขึ้นและโก่งลง เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกกระทำที่คานช่วงริมซ้ายของสะพาน จะเกิดการโก่งลงที่คานช่วงริมซ้ายและคานช่วงริมขวาของสะพาน และจะเกิดการโก่งขึ้นที่คานช่วงกลาง และระยะ โกงลงจะมีค่ามากที่สุดที่บริเวณกึ่งกลางคานช่วงริมซ้าย ระยะ โกงขึ้นจะมีค่ามากที่สุดบริเวณกึ่งกลางคานช่วงกลางของสะพาน เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกกระทำที่คานช่วงริมขวาของสะพาน จะเกิดการโก่งตัวเช่นเดียวกับเมื่อมีน้ำหนักกระทำที่คานช่วงริมซ้ายของสะพานแต่ในลักษณะตรงกันข้าม และเมื่อมีน้ำหนักกระทำที่คานช่วงกลางของสะพาน จะเกิดการโก่งขึ้นที่คานช่วงริมซ้ายและขวาของสะพานและจะเกิดการโก่งลงที่คานช่วงกลาง และระยะ โกงขึ้นจะมีค่ามากที่สุดที่บริเวณกึ่งกลางคานช่วงริมซ้ายและขวาของสะพาน ส่วนค่าระยะ โกงลงจะมากที่สุดที่บริเวณกึ่งกลางคานช่วงกลางของสะพาน

สรุป

ผลจากการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ระยะ โกงของสะพานคอนกรีตอัดแรง ต่อเนื่องสามช่วงที่มีลักษณะสมมาตร โดยมีช่วงกลางยาว $4/3$ ถึง $5/3$ ของช่วงริม สรุปได้ดังนี้

1. สามารถวิเคราะห์ระยะ โกงของสะพานคอนกรีตอัดแรงในขั้นตอนการก่อสร้างที่เกิดจากน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน วัสดุผิวจราจร ขอบทางเท้าและราวสะพาน น้ำหนักของเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆที่เคลื่อนที่บน โครงสร้างสะพานและน้ำหนักจากกองวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบน สะพาน น้ำหนักแบบหล่อชิ้นส่วนย่อยของโครงสร้างสะพานที่ปลายอิสระ และแรงดึงในลวดอัดแรง ซึ่งได้พิจารณาการสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงเนื่องจากสาเหตุต่างๆแล้ว

2. สามารถวิเคราะห์ระยะ โกงของสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจรตามข้อกำหนดของ AASHTO เมื่อสะพานก่อสร้างแล้วเสร็จสมบูรณ์

3. สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ระยะ โกงของสะพานในขั้นตอนต่างๆดังกล่าวแล้วทั้งในรูปแบบของตารางและกราฟฟิค

4. ระยะ โกงของสะพานคอนกรีตอัดแรงในขั้นตอนการก่อสร้างสามารถนำไปใช้ปรับระดับแบบหล่อสะพานเพื่อให้สะพานมีรูปแบบตามแบบก่อสร้าง (Drawings) และระยะ โกงของสะพานคอนกรีตอัดแรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรในขั้นตอนการใช้งาน ใช้สำหรับตรวจสอบการใช้งานของสะพาน (Workability) ตามข้อกำหนดของสะพาน (Specification)

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- นิรันดร์ อนันต์ชนกุล. 2535. การวิเคราะห์ค่าตัวประกอบนำข้าม ตัวประกอบแข็งแรงแรงและตัวประกอบโมเมนต์ดัดของคานสะพานต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เมิน มีสุข. 2529. เส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาโมเมนต์ดัด และแรงเฉือนของสะพานสามช่วง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมโพธิ วิวิธเกตุรงค์. 2550. การออกแบบคอนกรีตอัดแรง. พิมพ์ครั้งที่ 2 โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สมโพธิ วิวิธเกตุรงค์. 2550. การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีแมทริกซ์. พิมพ์ครั้งที่ 3 โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สราวุธ ย่วนเต็ง. 2543. การออกแบบสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- AASHTO. 1996. **Standard Specifications for Highway Bridges**. The American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc., Washington, D.C.
- ACI Committee 318. 1995. **Building Code Requirements For Reinforced Concrete**. American Concrete Institute, United States.
- Barr, P. J., B. M. Kukay and M.W. Halling. 2008. Comparison of Prestress Losses for a Prestress Concrete Bridge Made with High-Performance Concrete. **Journal of Bridge Engineering by ASCE**: 468-475.

Branson, D. E. and A. M. Ozell. 1961. Camber in Prestressed Concrete Beams.

ACI Journal 57 (12): 1549-1574.

Michael, J., W. Barnes and Sam Eskildsen. 2003. Camber and Prestress Losses in Alabama

HPC Bridge Girders. **PCI Journal**: 1-16.

Nawy, E. G. 1989. **Prestressed Concrete a Fundamental Approach**. Englewood Cliffs,

Prentice Hall, New York.

Paul, Zia, H. Kent, L. Scott and B. Workman. 1979. Estimating Prestress Losses. **Concrete**

International: 32-38.

PCI Committee on Prestress Losses. 1975. Recommendation for Estimating Prestress Losses.

Prestress Concrete Institute 20: 43-75.

Raouf, Sinno and L. Furr. 1972. Computer Program for Predicting Prestress Loss and

Camber. **PCI Journal**: 27-38.

Sheng, Chiu, Chuan, Chern, Chun and Chang. 1996. Long-Term Deflection Control in

Cantilever Prestressed Concrete Bridge I : Control Method. **Journal of Engineering**

Mechanics by ASCE: 489-494.



ภาคผนวก

คู่มือการใช้โปรแกรม



PCBridge-III Ver. 2.1

การออกแบบสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลง
Optimum Design of Three Span Continuous Prestressed Concrete Bridge
with Variable Cross Section

Version 2.1

สารบัญ

	หน้า
1. คุณสมบัติของโปรแกรม PC BridgeIII Ver. 2.1	119
2. การติดตั้งโปรแกรมและการเรียกใช้งาน PC BridgeIII Ver. 2.1	119
3. ส่วนประกอบของโปรแกรม PC BridgeIII Ver. 2.1	120
4. การป้อนข้อมูลเพื่อใช้งานโปรแกรม PC BridgeIII Ver. 2.1	127
5. การวิเคราะห์โมเมนต์คัต แรงเฉือน บนหน้าตัดสะพาน แรงปฏิกิริยาในตอม่อสะพานและ การออกแบบหน้าตัดสะพาน	142
6. การแสดงผลการวิเคราะห์และการออกแบบหน้าตัดสะพาน	145
7. การวิเคราะห์ระยะ โกงของสะพานตามขั้นตอนการก่อสร้าง	154

PCBridgeIII Ver. 2.1 เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการวิเคราะห์โมเมนต์ดัด แรงเฉือน และแรงปฏิกิริยาในทอม่อสะพานรวมทั้งออกแบบสะพานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงและการวิเคราะห์ระยะโค้งของสะพานตามขั้นตอนการก่อสร้างซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระยะกล่าวคือ ขั้นตอนแรกเป็นการก่อสร้างในลักษณะคานปลายยื่นสมดุขยสองด้าน ขั้นตอนที่สองมีลักษณะเป็นคานช่วงเดียวปลายยื่น และขั้นตอนที่สามมีลักษณะเป็นคานต่อเนื่องสามช่วง โดยโปรแกรมมีคุณสมบัติและวิธีการใช้งานดังนี้

1. คุณสมบัติของโปรแกรม PCBridgeIII Ver. 2.1

1.1 ชุดอุปกรณ์

PCBridgeIII Ver. 2.1 เป็นโปรแกรมที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Window Xp ซึ่งทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่มีคุณสมบัติอย่างน้อยดังนี้

- หน่วยประมวลผล (CPU) Intel Pentium 233 MHz ขึ้นไป หน่วยความจำ 128 เมกะไบท์
- หน่วยความจำหลัก (RAM) ไม่น้อยกว่า 64 เมกะไบท์ (MB)
- การ์ดแสดงผล (VGA CARD) สามารถแสดงผลได้ที่ระดับ 32 บิตสี
- อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (HARD DISK) ไม่น้อยกว่า 500 เมกะไบท์
- เครื่องพิมพ์สำหรับกระดาษขนาด A4

1.2 ระบบปฏิบัติการ

- PCBridgeIII Ver. 2.1 เป็นโปรแกรมแบบ 32 บิต ที่สร้างขึ้นบนระบบปฏิบัติการ Window Xp

2. การติดตั้งโปรแกรมและการเรียกใช้งาน

2.1 การติดตั้งโปรแกรม

PCBridgeIII Ver. 2.1 เป็นโปรแกรมที่สามารถติดตั้งได้อัตโนมติ โดยการเรียกแฟ้มข้อมูลชื่อ Setup.Exe ที่อยู่ในแผ่นดิส หลังจากติดตั้งเสร็จแล้ว จะปรากฏไอคอนของโปรแกรมอยู่ใน Start/Programs/PCBridge-III Ver. 2.1 เพื่อความสะดวกในการเรียกใช้งานสามารถสร้าง Shortcut ของโปรแกรมไว้บนพื้นหน้าจอ (Desktop)

2.2 การเรียกใช้งาน

สามารถเรียกโปรแกรมได้จากไอคอนของโปรแกรมที่อยู่ใน Start/Programs/PCBridge-III Ver. 2.1 หรือเรียกจาก Shortcut ที่สร้างขึ้นบนหน้าจอ

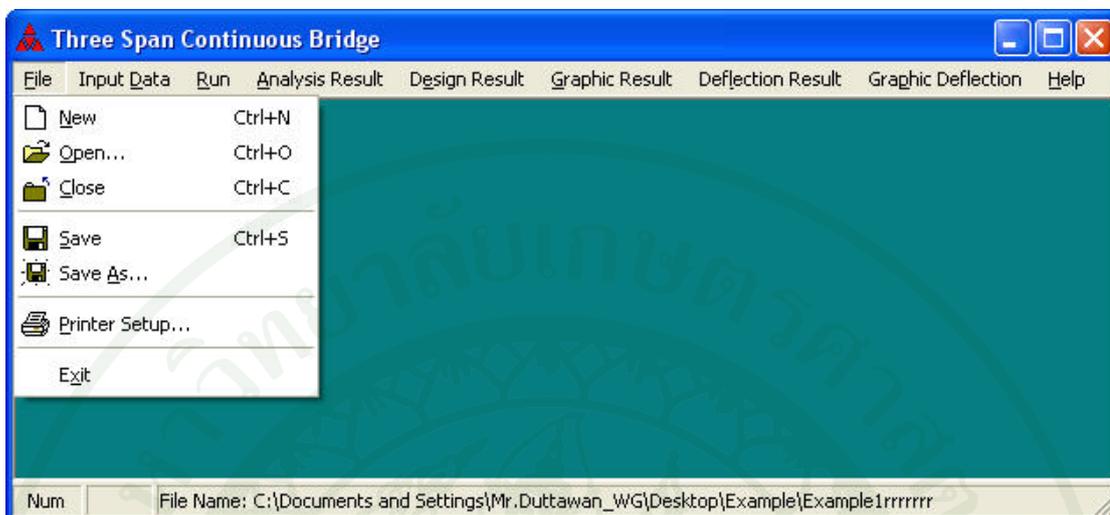
3. ส่วนประกอบของโปรแกรม PC BridgeIII Ver. 2.1

เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะเห็นส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรมดังแสดงในภาพที่ 1 โดยมีเมนูสำหรับการเรียกใช้งานในแต่ละส่วนแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้



ภาพผนวกที่ 1 ส่วนประกอบหลักของโปรแกรม

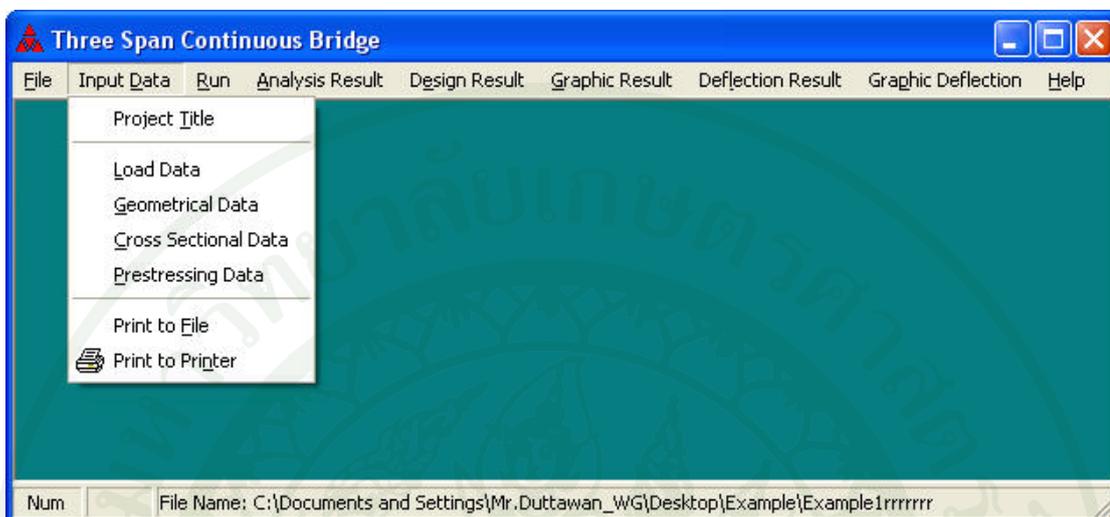
- File เป็นส่วนที่ควบคุมและจัดการด้านเพิ่มข้อมูล โดยมีคำสั่งทั้งหมด 7 คำสั่งดังนี้



ภาพผนวกที่ 2 คำสั่งย่อยสำหรับจัดการเพิ่มข้อมูล

- New ใช้ในกรณีที่ต้องการสร้างเพิ่มข้อมูลของงานใหม่และโปรแกรมจะลบข้อมูลเดิมออกจากหน่วยความจำทั้งหมด โดยเพิ่มข้อมูลจะเป็นชนิด “*.Dat”
- Open สำหรับเปิดเพิ่มข้อมูลเก่าที่เคยสร้างไว้แล้ว ซึ่งเป็นเพิ่มข้อมูลชนิด “*.Dat”
- Save สำหรับบันทึกข้อมูลของงานที่กำลังทำอยู่ ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไข โดยบันทึกลงในเพิ่มข้อมูลชื่อเดิมที่กำลังทำงานอยู่
- Save As... สำหรับบันทึกเพิ่มข้อมูลลงในเพิ่มข้อมูลชื่อใหม่ หรือใช้ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนชื่อเพิ่มข้อมูล โดยเพิ่มข้อมูลจะเป็นชนิด “*.Dat”
- Close สำหรับปิดเพิ่มข้อมูลที่กำลังทำงานอยู่โดยโปรแกรมจะลบข้อมูลทั้งหมดที่กำลังทำงานอยู่ออกจากหน่วยความจำ
- Printer Setup... สำหรับกำหนดคุณสมบัติและชนิดของเครื่องพิมพ์
- Exit สำหรับปิดโปรแกรมหรือต้องการออกจากโปรแกรม

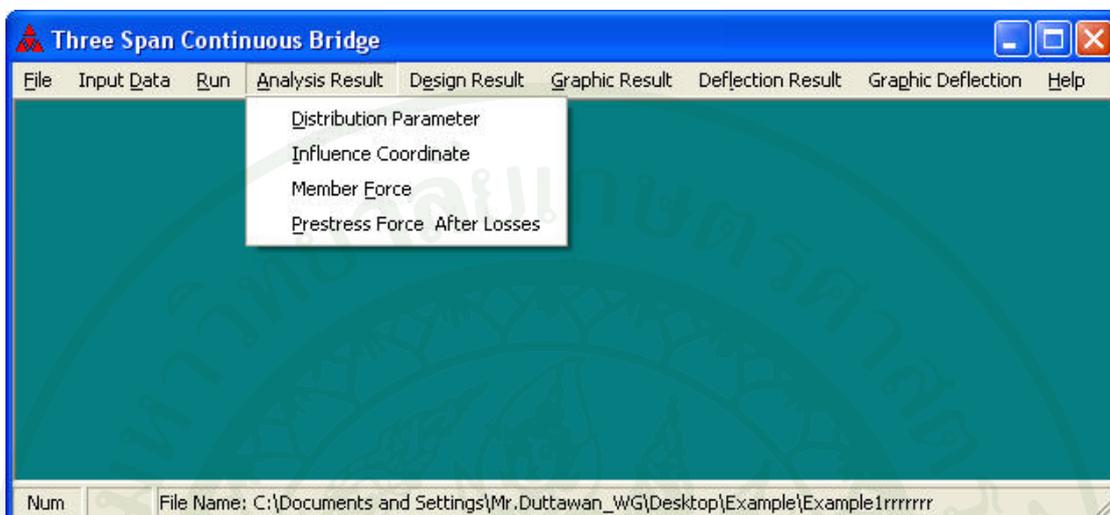
- Input Data เป็นส่วนรับข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการออกแบบสะพาน โดยข้อมูลแต่ละส่วนจะแยกออกจากกัน ดังนี้



ภาพผนวกที่ 3 คำสั่งย่อสำหรับการป้อนข้อมูล

- Project Title สำหรับกำหนดชื่อ โครงการและรายละเอียดของโครงการ
 - Load Data สำหรับกำหนดน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างสะพาน
 - Geometrical Data สำหรับกำหนดความยาวของช่วงสะพานและความลึกของสะพาน
 - Cross Section Data สำหรับกำหนดลักษณะและขนาดของหน้าตัดสะพาน
 - Prestressing Data สำหรับกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรง
 - Print to File สำหรับพิมพ์ข้อมูลทั้งหมดให้อยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูลตัวอักษร (Text File) โดยเป็นแฟ้มข้อมูลชนิด “*.Txt”
 - Print to Printer สำหรับพิมพ์ข้อมูลทั้งหมดออกทางเครื่องพิมพ์
- Run เป็นคำสั่งที่ควบคุมการทำงานของโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์และออกแบบสะพาน

- Analysis Result เป็นส่วนที่ใช้ในการแสดงผลของการวิเคราะห์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้



ภาพผนวกที่ 4 คำสั่งย่อยสำหรับแสดงผลการวิเคราะห์

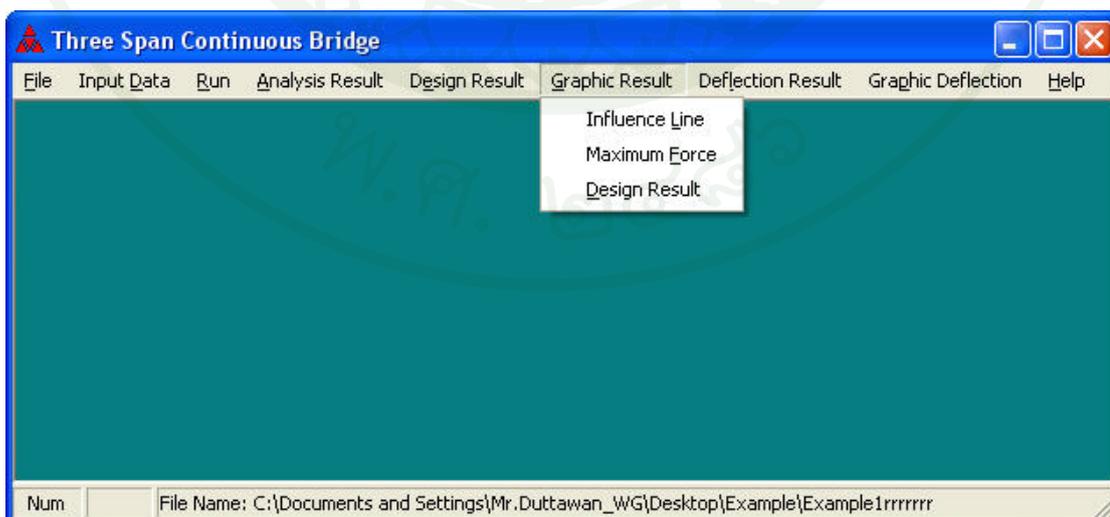
- Distribution Parameter แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายโมเมนต์
- Influence Coordinate แสดงค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับโมเมนต์ตัดและแรงเฉือนที่ตำแหน่งจุดแบ่งต่างๆ และแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ
- Member Force แสดงค่าของ โมเมนต์ตัดและแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่ตำแหน่งจุดแบ่งต่างๆ และแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ
- Prestress Force After Losses แสดงค่าแรงดึงที่เหลือในลวดอัดแรงในช่วงต่างๆ

- Design Result เป็นส่วนที่แสดงผลของการออกแบบหน้าตัดสะพานคอนกรีตอัดแรง ซึ่งจะแสดงหน่วยแรงบนหน้าตัดและจำนวนลวดอัดแรงที่จะต้องเสริมบนหน้าตัดในแต่ละระยะของการก่อสร้าง



ภาพผนวกที่ 5 คำสั่งย่อยสำหรับแสดงผลของการออกแบบหน้าตัดสะพานคอนกรีตอัดแรง

- Graphic Result เป็นส่วนที่แสดงผลการวิเคราะห์ในลักษณะรูปภาพ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้



ภาพผนวกที่ 6 คำสั่งย่อยสำหรับแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปของกราฟฟิก

- Influence Line แสดงเส้นอิทธิพลสำหรับโมเมนต์คัตและแรงเฉือนที่ตำแหน่งจุดแบ่งต่างๆ และแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ
- Maximum Force แสดงโมเมนต์คัตและแรงเฉือนสูงสุดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO
- Design Result แสดงผลการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรง
- Deflection Result เป็นส่วนที่แสดงผลการวิเคราะห์ระยะโค้งในขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ



ภาพผนวกที่ 7 คำสั่งย่อยสำหรับแสดงผลการวิเคราะห์ระยะโค้งในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง

- Graphic Deflection เป็นส่วนที่แสดงผลการวิเคราะห์ระยะโค้งในขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆในลักษณะรูปภาพ



ภาพผนวกที่ 8 คำสั่งย่อยสำหรับแสดงผลการวิเคราะห์ระยะโค้งในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง



ภาพผนวกที่ 9 ข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม

4. การป้อนข้อมูล (Input Data) เพื่อใช้งานโปรแกรม PC BridgeIII Ver. 2.1

ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบหน้าตัดสะพานคอนกรีตอัดแรง ต่อเนื่องสามช่วงที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลง มีดังนี้

4.1 ชื่อโครงการและผู้ทำการวิเคราะห์และออกแบบ สามารถกำหนดได้จากเมนู Project Title ดังนี้

ภาพผนวกที่ 10 การกำหนดชื่อโครงการและผู้ทำการวิเคราะห์และออกแบบ

- Project : กำหนดชื่อโครงการ
- Location : กำหนดสถานที่ตั้งโครงการ
- Engineer : กำหนดชื่อผู้ทำการวิเคราะห์และออกแบบ

4.2 น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพาน สามารถกำหนดได้จากเมนู Load Data ซึ่งแบ่งน้ำหนักบรรทุกออกเป็นสองส่วนคือ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (dead load) และน้ำหนักบรรทุกจร (live load) ดังนี้

Design Load Data		
Dead load		
Unit weight of concrete	2400.00	kg/cu.m.
Superimposed dead load	186.53	kg/sq.m.
Live load		
No. of traffic lanes	3	
Class of loading	HS20-44	
Lane loading		
Concentrated load for moment	8170.00	kg.
Concentrated load for shear	11800.00	kg.
Uniformly distributed load	950.00	kg/m.
Ratio of concentrated load for moment [construction stage]	1.00	
Ratio of uniformly distributed load [construction stage]	1.00	
Truck loading		
Front axle	3640.00	kg.
Middle axle	14540.00	kg.
Rear axle	14540.00	kg.
Axle spacing (front - middle)	4.27	m.
Axle spacing (middle - rear)	4.27	m.

ภาพผนวกที่ 11 การกำหนดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพาน

Dead Load น้ำหนักบรรทุกคงที่

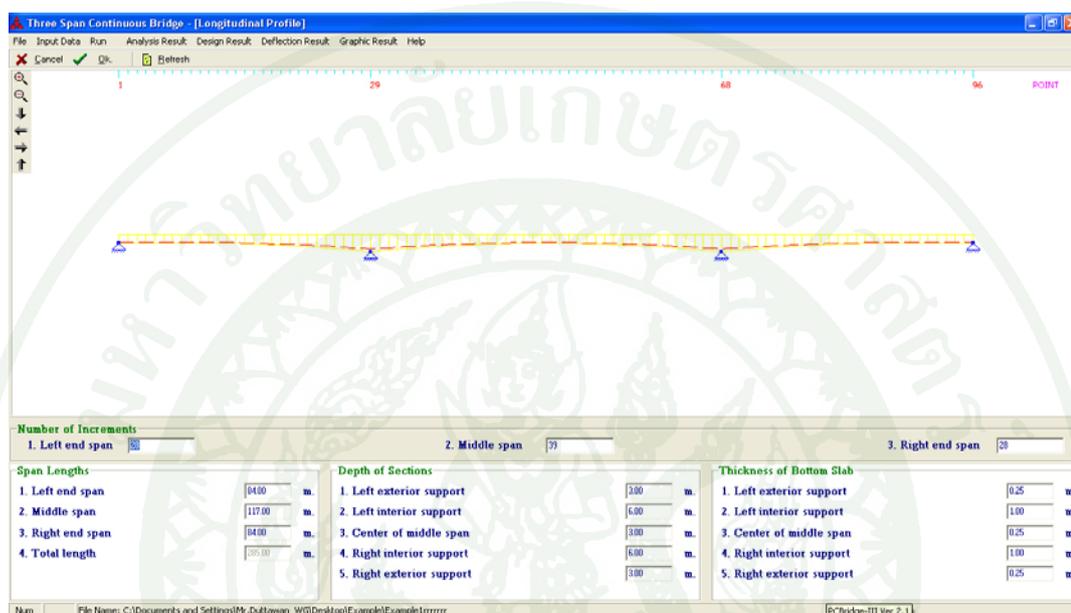
- Unit weight of concrete เป็นน้ำหนักของคอนกรีตในหนึ่งหน่วยลูกบาศก์เมตร
- Superimposed dead load เป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติมจากน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน โดยคิดเป็นน้ำหนักแบบแผ่กระจาย เช่น น้ำหนักของวัสดุผิวจราจร น้ำหนักของขอบทางเท้า น้ำหนักราวสะพาน เป็นต้น

Live Load น้ำหนักบรรทุกจร

- No. of traffic lanes จำนวนช่องจราจรบนสะพาน
- Class of loading กำหนดชนิดของน้ำหนักบรรทุกมาตรฐานตามข้อกำหนดของ AASHTO
- Lane loading เป็นน้ำหนักบรรทุกเทียบเท่าซึ่งประกอบด้วยน้ำหนักที่กระทำต่อสะพาน ดังนี้
 - Concentrated load for moment น้ำหนักบรรทุกแบบเป็นจุดที่กระทำในหนึ่งช่องจราจรสำหรับวิเคราะห์โมเมนต์ตัด
 - Concentrated load for shear น้ำหนักบรรทุกแบบเป็นจุดที่กระทำในหนึ่งช่องจราจรสำหรับวิเคราะห์แรงเฉือน
 - Uniformly distributed load น้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจายที่กระทำในหนึ่งช่องจราจร
 - Ratio of concentrated load for moment (construction stage) อัตราส่วนเพื่อปรับแก้น้ำหนักบรรทุกแบบเป็นจุดที่กระทำในหนึ่งช่องจราจรในขั้นตอนการก่อสร้าง
 - Ratio of uniformly distributed load (construction stage) อัตราส่วนเพื่อปรับแก้ น้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจายที่กระทำในหนึ่งช่องจราจรในขั้นตอนการก่อสร้าง
- Truck loading เป็นน้ำหนักบรรทุกทุกคันที่กระทำต่อสะพาน ประกอบด้วยน้ำหนักกระทำแบบเป็นจุดซึ่งเป็นน้ำหนักของเพลาดังนี้
 - Front axle น้ำหนักของเพลาด้านหน้า
 - Middle axle น้ำหนักของเพลากลาง
 - Rear axle น้ำหนักของเพลาด้านหลัง
 - Axle spacing (front-middle) ระยะห่างระหว่างเพลาด้านหน้าและเพลากลาง

- Axle spacing (middle-rear) ระยะห่างระหว่างเพลากลางและเพลาล้าง

4.3 ลักษณะของสะพานตามยาวสามารถกำหนดได้จากเมนู Geometrical Data โดยมีรายละเอียดของข้อมูลต่างๆ ดังนี้



ภาพผนวกที่ 12 การกำหนดลักษณะของสะพานตามยาว

Number of Increments จำนวนชิ้นส่วนย่อยของสะพานในแต่ละช่วง

1. Left end span จำนวนชิ้นส่วนย่อยของสะพานช่วงริมซ้าย
2. Middle span จำนวนชิ้นส่วนย่อยของสะพานช่วงกลาง
3. Right end span จำนวนชิ้นส่วนย่อยของสะพานช่วงริมขวา

Span Lengths ความยาวของสะพานในแต่ละช่วง

1. Left end span ความยาวของสะพานช่วงริมซ้าย
2. Middle span ความยาวของสะพานช่วงกลาง
3. Right end span ความยาวของสะพานช่วงริมขวา
4. Total length ความยาวรวมของสะพานทั้งสามช่วง

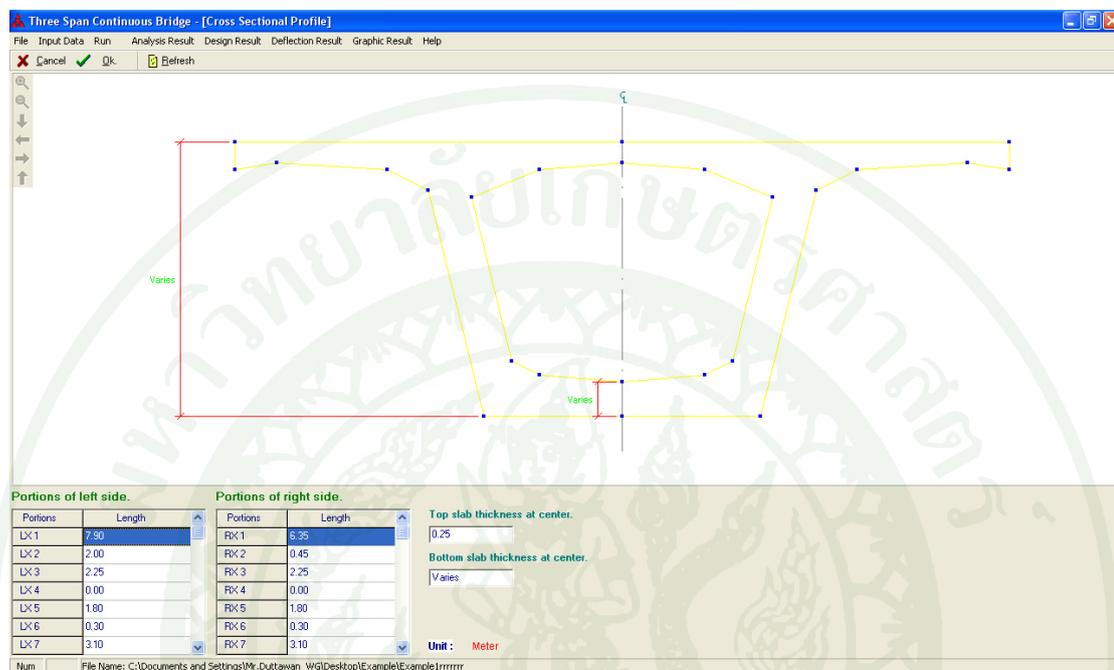
Depth of Sections ความลึกของหน้าตัดสะพานที่ตำแหน่งต่างๆ

1. Left exterior support ความลึกของหน้าตัดสะพานที่ฐานรองรับภายนอกด้านซ้าย
2. Left interior support ความลึกของหน้าตัดสะพานที่ฐานรองรับภายในด้านซ้าย
3. Center of middle span ความลึกของหน้าตัดสะพานที่จุดกึ่งกลางของสะพานช่วงกลาง
4. Right interior support ความลึกของหน้าตัดสะพานที่ฐานรองรับภายในด้านขวา
5. Right exterior support ความลึกของหน้าตัดสะพานที่ฐานรองรับภายนอกด้านขวา

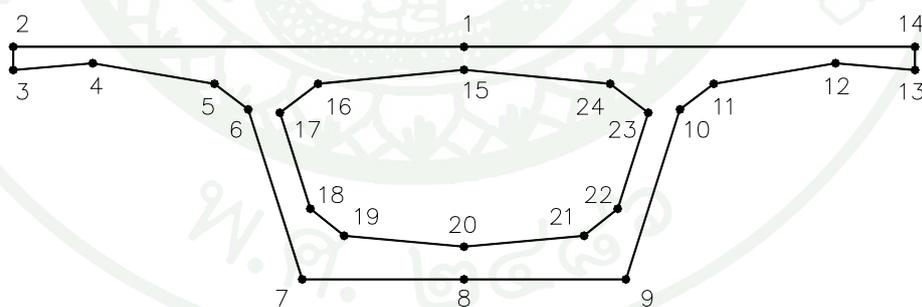
Thickness of Bottom Slab ความหนาของพื้นที่องคานที่ตำแหน่งต่างๆ

1. Left exterior support ความหนาของพื้นที่องคานที่ฐานรองรับภายนอกด้านซ้าย
2. Left interior support ความหนาของพื้นที่องคานที่ฐานรองรับภายในด้านซ้าย
3. Center of middle span ความหนาของพื้นที่องคานที่จุดกึ่งกลางของสะพานช่วงกลาง
4. Right interior support ความหนาของพื้นที่องคานที่ฐานรองรับภายในด้านขวา
5. Right exterior support ความหนาของพื้นที่องคานที่ฐานรองรับภายนอกด้านขวา

4.4 กำหนดลักษณะของหน้าตัดสะพานสามารถกำหนดได้จากเมนู Cross Section Data โดยกำหนดลักษณะของหน้าตัดทางด้านซ้ายและด้านขวาของเส้นศูนย์กลางของหน้าตัด (C_L) ดังนี้



ภาพผนวกที่ 13 การกำหนดลักษณะของหน้าตัดคานสะพานคอนกรีตอัดแรง



ภาพผนวกที่ 14 การกำหนดหมายเลขจุดแบ่งบนหน้าตัดคานสะพานคอนกรีตอัดแรง

ขนาดของส่วนแบ่งบนหน้าตัดทางด้านซ้าย (left portions) และส่วนแบ่งของหน้าตัดทางด้านขวา (right portions) สามารถกำหนดได้จากจุดแบ่งบนหน้าตัดดังภาพที่ 11 ดังนี้

ตารางผนวกที่ 1 การกำหนดขนาดของหน้าตัด

ส่วนแบ่งของหน้าตัดทางด้านซ้าย			ส่วนแบ่งของหน้าตัดทางด้านขวา		
ส่วนแบ่งที่	จากจุดที่	ถึงจุดที่	ส่วนแบ่งที่	จากจุดที่	ถึงจุดที่
LX1	1	2	RX1	1	14
LX2	3	4	RX2	12	13
LX3	4	5	RX3	11	12
LX4	5	6	RX4	10	11
LX5	16	17	RX5	23	24
LX6	18	19	RX6	21	22
LX7	7	8	RX7	8	9
LY1	2	3	RY1	13	14
LY2	2	4	RY2	12	14
LY3	2	5	RY3	11	14
LY4	2	6	RY4	10	14
LY5	2	17	RY5	23	14
LY6	1	16	RY6	1	24
LY7	19	20	RY7	20	21
LY8	18	19	RY8	21	22
LWebThk	ความหนาเอวด้านซ้าย		RWebThk	ความหนาเอวด้านขวา	

Top slab thickness at center ความหนาของพื้นสะพานที่จุดกึ่งกลางของหน้าตัด เป็นระยะจากจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 15

4.5 ข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับการออกแบบลวดอัดแรง สามารถกำหนดได้จากเมนู Prestressing Data โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นหมวดๆ ดังนี้

- General Data เป็นข้อมูลทั่วไปสำหรับการออกแบบลวดอัดแรง ดังนี้

Covering to c.g. of tendons		
Top tendons	10.00	cm.
Bottom tendons	10.00	cm.
Age of segment at time of prestressing	7.00	days.
Segment construction time	14.00	days.
No. of segments before first prestressing		
At left pier	1	segments.
At right pier	1	segments.
Maximum number of tendons		
Top slab	60	nos.
Bottom slab	28	nos.

ภาพผนวกที่ 15 การกำหนดข้อมูลทั่วไปสำหรับการออกแบบลวดอัดแรง

- Covering to c.g. of tendons ระยะหุ้มคอนกรีตจากผิวนอกสุดของหน้าตัดถึงจุดศูนย์ถ่วงของกลุ่มลวดอัดแรง
 - Top tendons ระยะหุ้มคอนกรีตที่ผิวบนของหน้าตัด
 - Bottom tendons ระยะหุ้มคอนกรีตที่ผิวล่างของหน้าตัด
- Age of segment at time of prestressing อายุของคอนกรีตในขณะที่ลวดอัดแรง

- Segment construction time ช่วงเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างชิ้นส่วนคอนกรีตแต่ละชิ้นโดยประมาณ โดยใช้เวลาในการก่อสร้างแต่ละชิ้นเท่ากัน
- No. of segments before first prestressing จำนวนชิ้นส่วนคอนกรีตที่ก่อสร้างขึ้นออกจากตอม่อโดยไม่ต้องเสริมลวดอัดแรงในขณะก่อสร้างคานปลายยื่นสองด้าน
 - At left pier ที่ตอม่อกลางสะพานทางฝั่งซ้าย
 - At right pier ที่ตอม่อกลางสะพานทางฝั่งขวา
- Maximum number of tendons จำนวนกลุ่มลวดอัดแรงที่สามารถเสริมได้มากที่สุดบนหน้าตัด
 - Top slab ที่พื้นสะพานส่วนบน
 - Bottom slab ที่พื้นที่องคาน

- Allowable Stress กำหนดหน่วยแรงอัดและหน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรง ดังนี้

Concrete		
Compressive stress at transfer	134.75	kg./sq.cm.
Tensile stress at transfer	0.00	kg./sq.cm.
Compressive stress at service	140.00	kg./sq.cm.
Tensile stress at service	0.00	kg./sq.cm.

ภาพผนวกที่ 16 การกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรง

- Compressive stress at transfer หน่วยแรงอัดที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรงในขณะถ่ายแรง
- Tensile stress at transfer หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรงในขณะถ่ายแรง
- Compressive stress at service หน่วยแรงอัดที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรงในขณะใช้งาน
- Tensile stress at service หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรงในขณะใช้งาน

- Concrete Parameters กำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีต ดังนี้

Prestressing Data

Cancel Ok

General Data | Allowable Stresses | **Concrete Parameters** | Prestressing Steel Parameters | Reinforcing Data

Concrete type: Normal strength

Density: Normal weight

Curing: Moist cure

Compressive strength at time of prestressing: 245.00 kg./sq.cm.

Compressive strength at 28 days: 350.00 kg./sq.cm.

ภาพผนวกที่ 17 การกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีต

- Concrete type กำหนดคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสำหรับคานสะพาน โดยสามารถเลือกกำหนดได้ 2 ชนิด คือ
 - Normal strength สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดปกติ
 - High early strength สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดเร็ว
- Density กำหนดคุณสมบัติด้านความหนาแน่นของคอนกรีต โดยสามารถเลือกกำหนดได้ 2 ชนิดคือ
 - Normal weight สำหรับคอนกรีตปกติ
 - Lightweight สำหรับคอนกรีตมวลเบา

- Curing กำหนดลักษณะการบ่มคอนกรีต โดยสามารถเลือกกำหนดได้ 2 ชนิด คือ
 - Moist cure สำหรับการบ่มด้วยความชื้น
 - Accelerated cure สำหรับการบ่มด้วยไอน้ำ
- Compressive strength at time of prestressing กำหนดกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตในขณะที่ตั้งลวดอัดแรง
- Compressive strength at 28 days กำหนดกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อมีอายุ 28 วันขึ้นไป
- Prestressing Steel Parameters กำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของลวดอัดแรง ดังนี้

Parameter	Value	Unit
Prestress steel type	Low-relaxation steel	
Modulus of elasticity	1970000.00	kg./sq.cm.
Number of strands per tendon	12	
Grade of PC. strand	270K	
Dia. of PC. strand	12.70	mm.
Sectional area per strand	0.9870	sq.cm.
Ultimate tensile strength per strand	18730.00	kg.
Initial prestressing force in percent of ultimate tensile strength	70.00	%
Anchorage seating	0.30	cm.
Wobble coefficient	0.0040	/m.
Curvature coefficient	0.20	/radian

ภาพผนวกที่ 18 การกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของลวดอัดแรง

- Prestress steel type กำหนดชนิดของลวดอัดแรง โดยสามารถเลือกกำหนดได้ 2 ชนิด คือ
 - Low-relaxation steel เป็นลวดอัดแรงชนิดคลายแรงดึงต่ำ
 - Stress-relieved steel เป็นลวดอัดแรงชนิดคลายหน่วยแรง
- Modulus of elasticity กำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของลวดอัดแรง
- Number of strands per tendon กำหนดจำนวนลวดอัดแรงที่อยู่ในกลุ่มลวดอัดแรง
- Grade of PC. strand กำหนดเกรดของลวดอัดแรง
- Dia. Of PC. strand กำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดอัดแรง
- Sectional area per strand กำหนดพื้นที่หน้าตัดของลวดอัดแรงหนึ่งเส้น
- Ultimate tensile strength per strand กำหนดแรงดึงประลัยสำหรับลวดอัดแรงหนึ่งเส้น
- Initial prestressing force in percent of ultimate tensile strength กำหนดแรงดึงเริ่มต้นสำหรับการดึงลวดอัดแรง โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดึงประลัยสำหรับลวดอัดแรงหนึ่งเส้น
- Anchorage seating กำหนดระยะเคลื่อนที่ของสมอยึด
- Wobble coefficient กำหนดสัมประสิทธิ์ความคดของลวดอัดแรง
- Curvature coefficient กำหนดสัมประสิทธิ์ความพืดของลวดอัดแรง

- Shear Parameters กำหนดข้อมูลสำหรับการออกแบบหน้าตัดรับแรงเฉือน

Prestressing Data

Cancel Ok

General Data | Allowable Stresses | Concrete Parameters | Prestressing Steel Parameters | Reinforcing Data

Shear reinforcement

Yield strength 4000.00 kg./sq.cm.

Steel bar diameter 16 mm.

Steel type Deformed bar

Load factor

Dead load 1.300

Live load 2.171

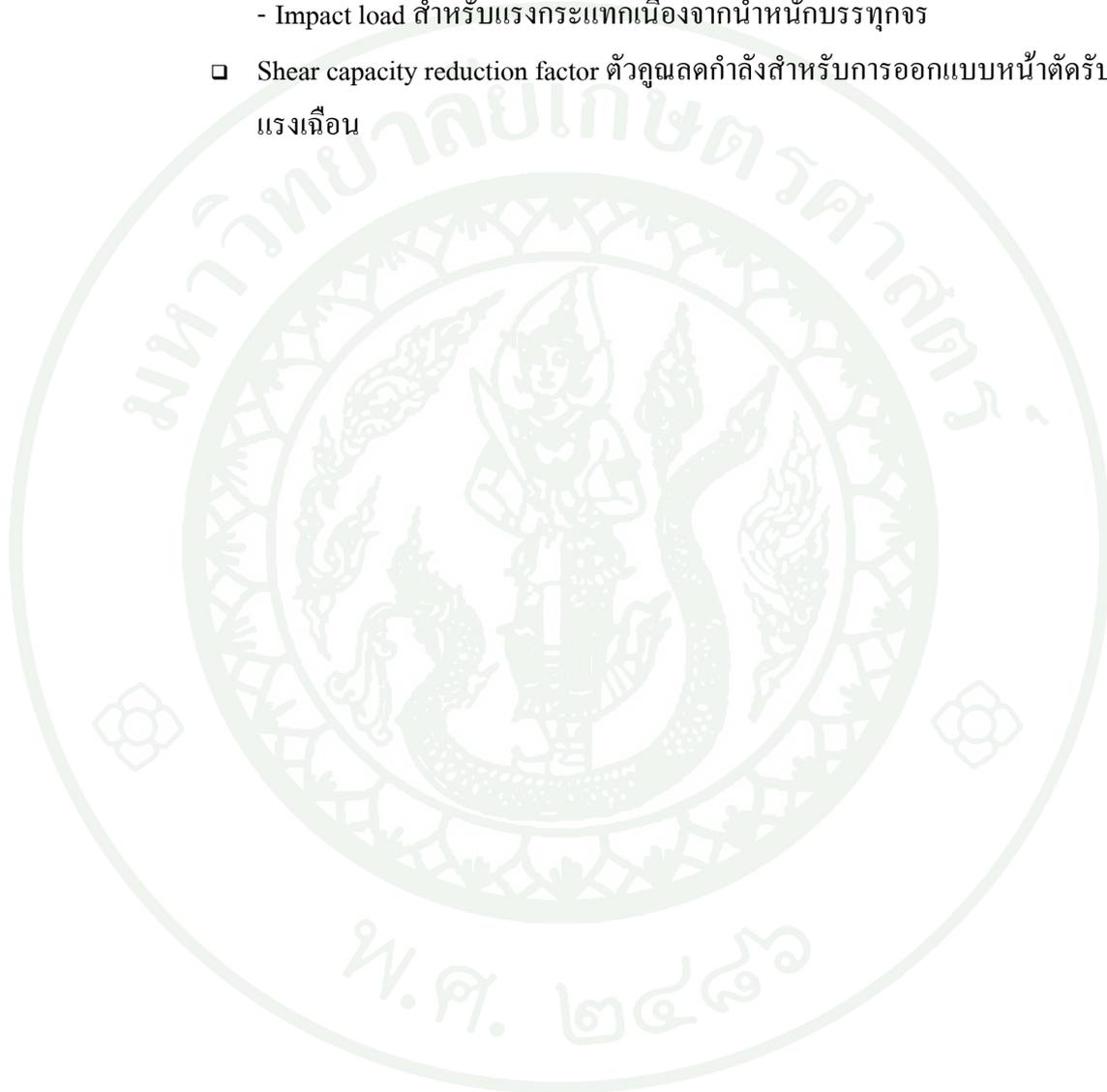
Impact load 2.171

Shear capacity reduction factor 0.90

ภาพผนวกที่ 19 การกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

- Shear reinforcement กำหนดคุณสมบัติของเหล็กเสริมไม่อัดแรงรับแรงเฉือน ดังนี้
 - Yield strength กำหนดค่าที่จุดครากของเหล็กเสริม
 - Steel bar diameter ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม
 - Steel type กำหนดชนิดของเหล็กเสริมโดยสามารถเลือกได้ 2 ชนิดคือ เหล็กข้ออ้อย (deformed bar) และเหล็กกลม (round bar)

- Load factor กำหนดค่าตัวคูณเพิ่มสำหรับน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างสะพาน ดังนี้
 - Dead load สำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่
 - Live load สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร
 - Impact load สำหรับแรงกระแทกเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร
- Shear capacity reduction factor ตัวคูณลดกำลังสำหรับการออกแบบหน้าตัดรับแรงเฉือน



5. การวิเคราะห์โมเมนต์ดัด แรงเฉือน บนหน้าตัดสะพาน แรงปฏิกิริยาในตอม่อสะพานและการ ออกแบบหน้าตัดสะพาน

การวิเคราะห์และออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรงสามารถทำได้โดยผ่านทางปุ่ม Run ซึ่งสามารถเรียกได้จากเมนูหลัก เมื่อคลิกที่ปุ่ม Run โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของสะพานในแต่ละช่วง เสร็จแล้วจึงนำค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนที่ได้มาทำการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรง ในขณะที่โปรแกรมทำการวิเคราะห์และออกแบบ จะแสดงขั้นตอนการทำงานในแต่ละขั้นตอน ดังนี้



ภาพผนวกที่ 20 แสดงลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบ

ในการทำงาน โปรแกรมจะสร้างแฟ้มข้อมูลขึ้นมาสำหรับเก็บข้อมูลที่มีการประมวลผลเสร็จแล้ว โดยแยกข้อมูลแต่ละส่วนออกจากกันเพื่อความสะดวกในการเรียกดูในภายหลัง แฟ้มข้อมูลที่สร้างขึ้นมาสำหรับเก็บข้อมูลแต่ละชนิดมีรายละเอียด ดังนี้

- Filename.MIn เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับโมเมนต์ดัด
- Filename.MOr เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บผลรวมของค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับโมเมนต์ดัดที่เป็นค่าบวกและลบรวมทั้งค่าพิคคสูงสุดและต่ำสุด
- Filename.MTr เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับโมเมนต์ดัดสูงสุดและต่ำสุดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุก
- Filename.VIn เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือน
- Filename.VOr เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บผลรวมของค่าพิคคของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือนที่เป็นค่าบวกและลบรวมทั้งค่าพิคคสูงสุดและต่ำสุด

- Filename.VTr เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือนสูงสุดและต่ำสุดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก
- Filename.SRe เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยา
- Filename.BEq เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าพิกัดของโมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกแต่ละเทียบเท่า
- Filename.BTr เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าพิกัดของโมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก
- Filename.SEq เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าพิกัดของแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกแต่ละเทียบเท่า
- Filename.STr เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าพิกัดของแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก
- Filename.BSf เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บผลรวมของค่าพิกัดของโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน
- Filename.Sec เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าคุณสมบัติของหน้าตัดคาน
- Filename.Pre เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าผลการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรง
- Filename.Lp เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรงของชิ้นส่วนต่างๆในขั้นตอนการก่อสร้าง
- Filename.Prm เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าระยะ โกงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ในคานปลายยื่นสมดุสองด้าน
- Filename.Ell เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าระยะ โกงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรในคานปลายยื่นสมดุสองด้าน
- Filename.Pts เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าระยะ โกงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรงในคานปลายยื่นสมดุสองด้าน
- Filename.Totd เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าผลรวมระยะ โกงที่เกิดขึ้นทั้งหมดในคานปลายยื่นสมดุสองด้าน
- Filename.Ovdl เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าระยะ โกงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ในคานช่วงเดี่ยวยื่น

- Filename.Ovel เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าระยะ โกงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรในคานช่วงเดี่ยวยาวปลายยื่น
- Filename.Ovp เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าระยะ โกงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรงในคานช่วงเดี่ยวยาวปลายยื่น
- Filename.Ovto เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าผลรวมระยะ โกงที่เกิดขึ้นทั้งหมดในคานช่วงเดี่ยวยาวปลายยื่น
- Filename.Cbs เป็นแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บค่าระยะ โกงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรในคานต่อเนื่องสามช่วง

6. การแสดงผลการวิเคราะห์และการออกแบบหน้าตัดสะพาน

6.1 การแสดงผลการวิเคราะห์สามารถเรียกได้จากเมนูหลัก Analysis Result โดยแยกผลการวิเคราะห์ออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

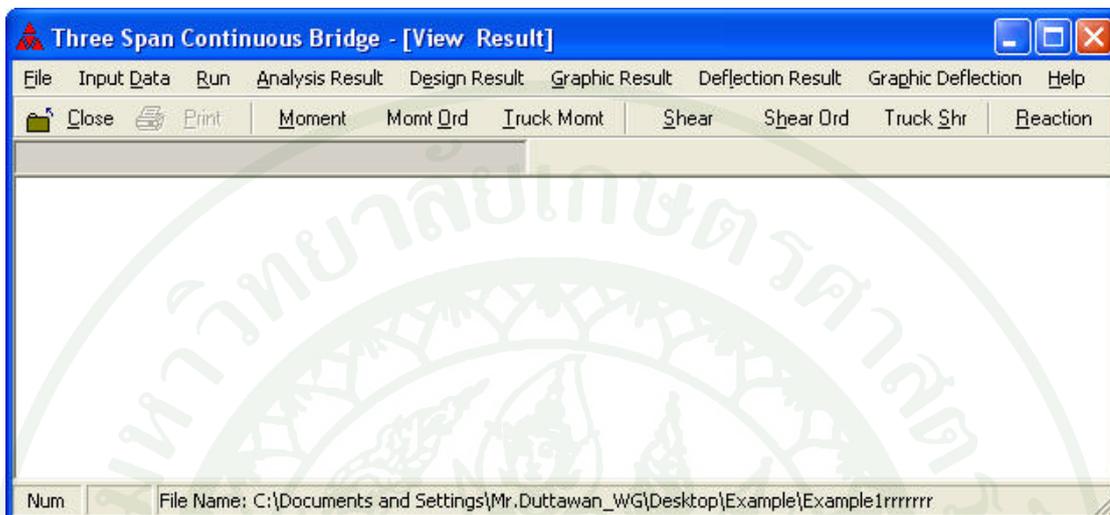
- Distribution Parameter แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายโมเมนต์ ดังนี้

Moment Distribution Parameters	
1. Carry Over Factor from left to right of middle span	0.724
2. Carry Over Factor from right to left of middle span	0.724
3. Stiffness Factor at right support of left end span	1.052
4. Stiffness Factor at left support of middle span	1.046
5. Stiffness Factor at right support of middle span	1.046
6. Stiffness Factor at left support of right end span	1.071
7. Moment Factor at right support of left end span	1.680
8. Moment Factor at left support of middle span	1.357
9. Moment Factor at right support of middle span	1.357
10. Moment Factor at left support of right end span	1.677

ภาพผนวกที่ 21 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายโมเมนต์

1. Carry Over Factor from left to right of middle span แสดงค่าตัวประกอบนำข้ามจากฐานรองรับทางด้านซ้ายมายังฐานรองรับทางด้านขวาของสะพานช่วงกลาง
2. Carry Over Factor from right to left of middle span แสดงค่าตัวประกอบนำข้ามจากฐานรองรับทางด้านขวามายังฐานรองรับทางด้านซ้ายของสะพานช่วงกลาง
3. Stiffness Factor at right support of left end span แสดงค่าตัวประกอบความแข็งเกร็งแรงคัตที่ฐานรองรับทางด้านขวาของสะพานช่วงริมซ้าย
4. Stiffness Factor at left support of middle span แสดงค่าตัวประกอบความแข็งเกร็งแรงคัตที่ฐานรองรับทางด้านซ้ายของสะพานช่วงกลาง
5. Stiffness Factor at right support of middle span แสดงค่าตัวประกอบความแข็งเกร็งแรงคัตที่ฐานรองรับทางด้านขวาของสะพานช่วงกลาง
6. Stiffness Factor at left support of right end span แสดงค่าตัวประกอบความแข็งเกร็งแรงคัตที่ฐานรองรับทางด้านซ้ายของสะพานช่วงริมขวา
7. Moment Factor at right support of left end span แสดงค่าตัวประกอบโมเมนต์คัตที่ฐานรองรับทางด้านขวาของสะพานช่วงริมซ้าย
8. Moment Factor at left support of middle span แสดงค่าตัวประกอบโมเมนต์คัตที่ฐานรองรับทางด้านซ้ายของสะพานช่วงกลาง
9. Moment Factor at right support of middle span แสดงค่าตัวประกอบโมเมนต์คัตที่ฐานรองรับทางด้านขวาของสะพานช่วงกลาง
10. Moment Factor at left support of right end span แสดงค่าตัวประกอบโมเมนต์คัตที่ฐานรองรับทางด้านซ้ายของสะพานช่วงริมขวา

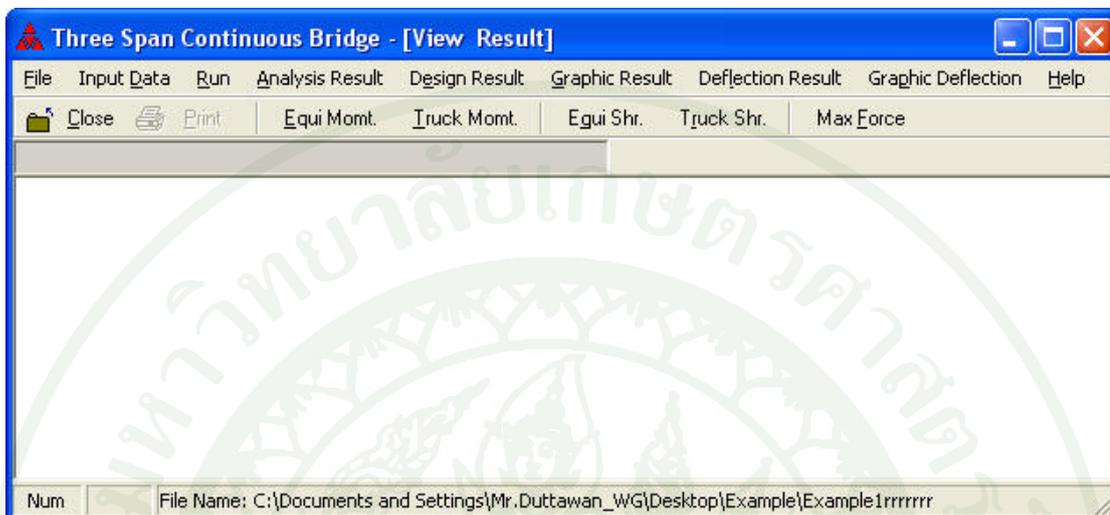
- Influence Coordinate แสดงค่าพิกัดของเส้นอิทธิพล โดยแยกการแสดงผลของค่าต่างๆ ดังนี้



ภาพผนวกที่ 22 ค่าพิกัดของเส้นอิทธิพล

- Moment แสดงค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับโมเมนต์คัต
- Momt Ord แสดงผลรวมของค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับโมเมนต์คัตที่เป็นค่าบวกและค่าลบ ตลอดจนค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด
- Truck Momt แสดงค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับ โมเมนต์คัตสูงสุดและต่ำสุดที่ตำแหน่งจุดแบ่งต่างๆ ตามตำแหน่งของเพลาารถบรรทุกทุกตามมาตรฐาน AASHTO
- Shear แสดงค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือน
- Shear Ord แสดงผลรวมของค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือนที่เป็นค่าบวกและค่าลบ ตลอดจนค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด
- Truck Shr แสดงค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงเฉือนสูงสุดและต่ำสุดที่ตำแหน่งจุดแบ่งต่างๆ ตามตำแหน่งของเพลาารถบรรทุกทุกตามมาตรฐาน AASHTO
- Reaction แสดงค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

- Member Force แสดงค่าพิกัดของโมเมนต์ตัดและแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO ดังนี้



ภาพผนวกที่ 23 ค่าพิกัดของโมเมนต์ตัดและแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก

- Equi Momt แสดงค่าของโมเมนต์ตัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกแผ่เทียบเท่า (equivalent lane loading)
- Truck Momt แสดงค่าของโมเมนต์ตัดเนื่องจากน้ำหนักรถบรรทุก (truck loading)
- Equi Shr แสดงค่าของแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกแผ่เทียบเท่า (equivalent lane loading)
- Truck Shr แสดงค่าของแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักรถบรรทุก (truck loading)
- Max Force แสดงค่าผลรวมของโมเมนต์ตัดและแรงเฉือนสูงสุด เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกแผ่เทียบเท่าและน้ำหนักรถบรรทุก

6.2 การแสดงผลการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรงสามารถเรียกได้จากเมนูหลัก Design Result โดยแยกผลการออกแบบออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

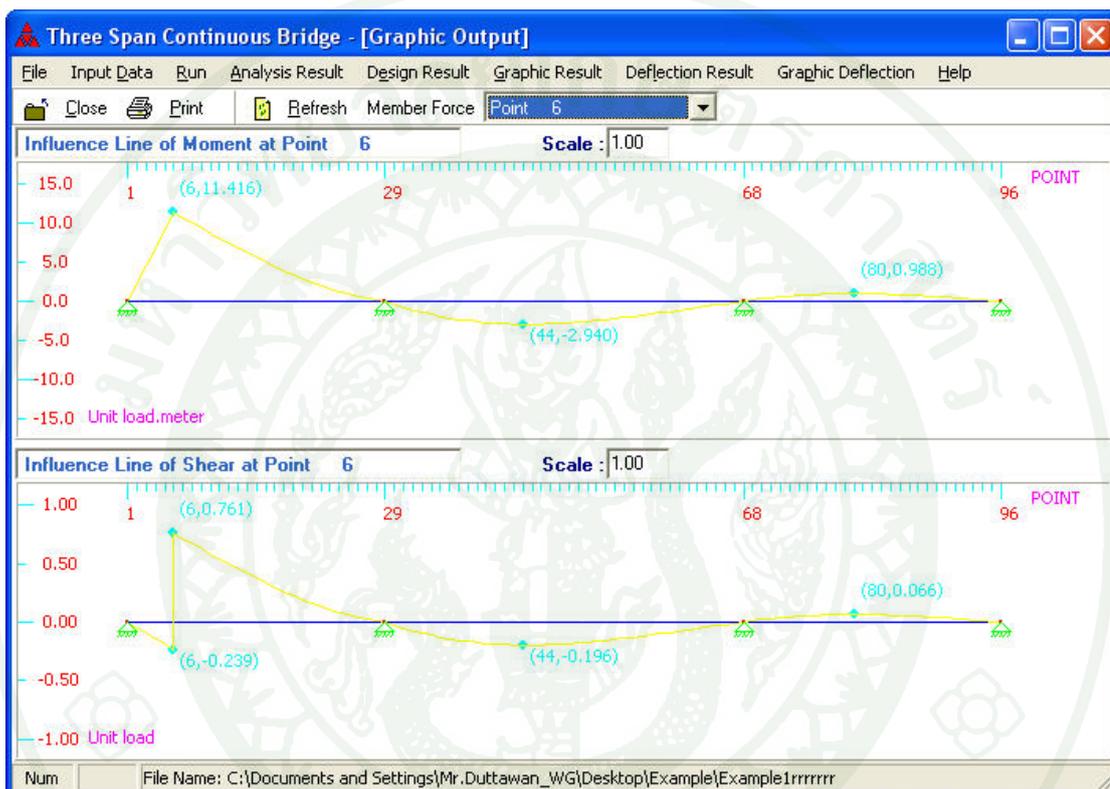


ภาพผนวกที่ 24 ผลการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรง

- Section Property แสดงค่าคุณสมบัติต่างๆ ของหน้าตัด
- Prestressed Design Results แสดงค่าผลการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรงของสะพานในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง

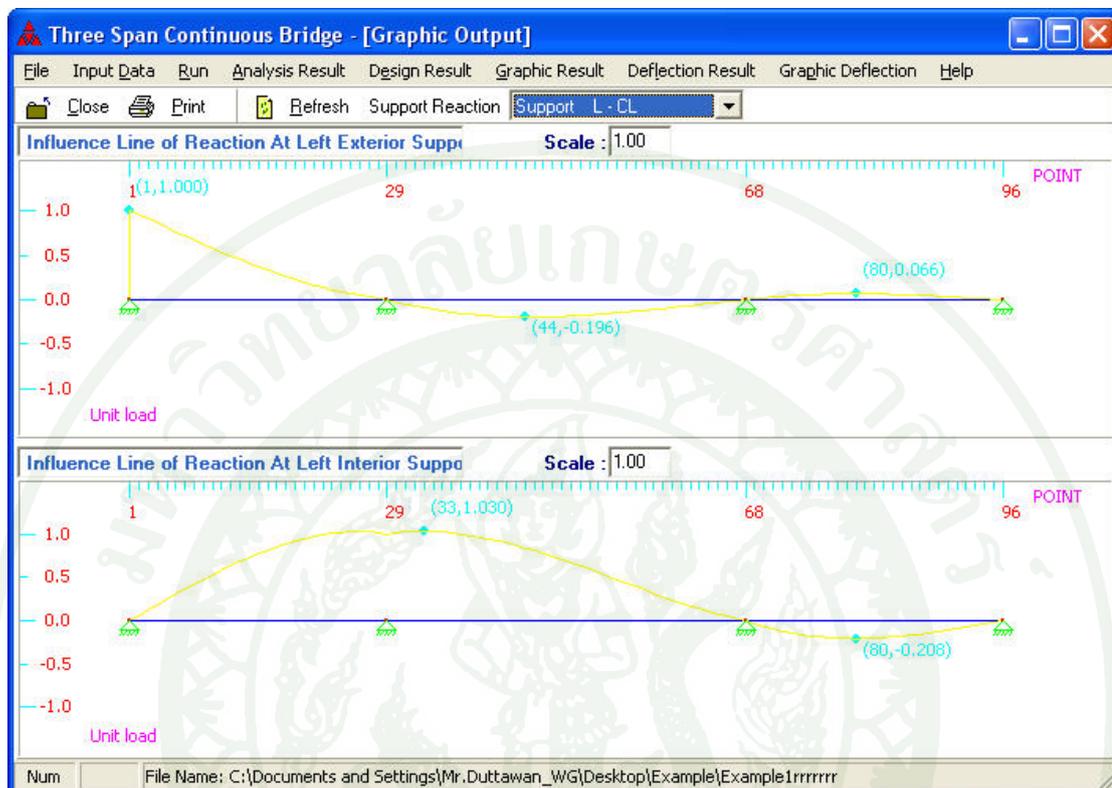
6.3 การแสดงผลการวิเคราะห์แบบแผนภาพ สามารถเรียกได้จากเมนูในส่วน Graphic Result โดยแยกการแสดงผลออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

- Influence Line แสดงเส้นอิทธิพล โดยแยกเป็น 2 ส่วน คือ
 - Member Force แสดงเส้นอิทธิพลของโมเมนต์คัตและแรงเฉือน



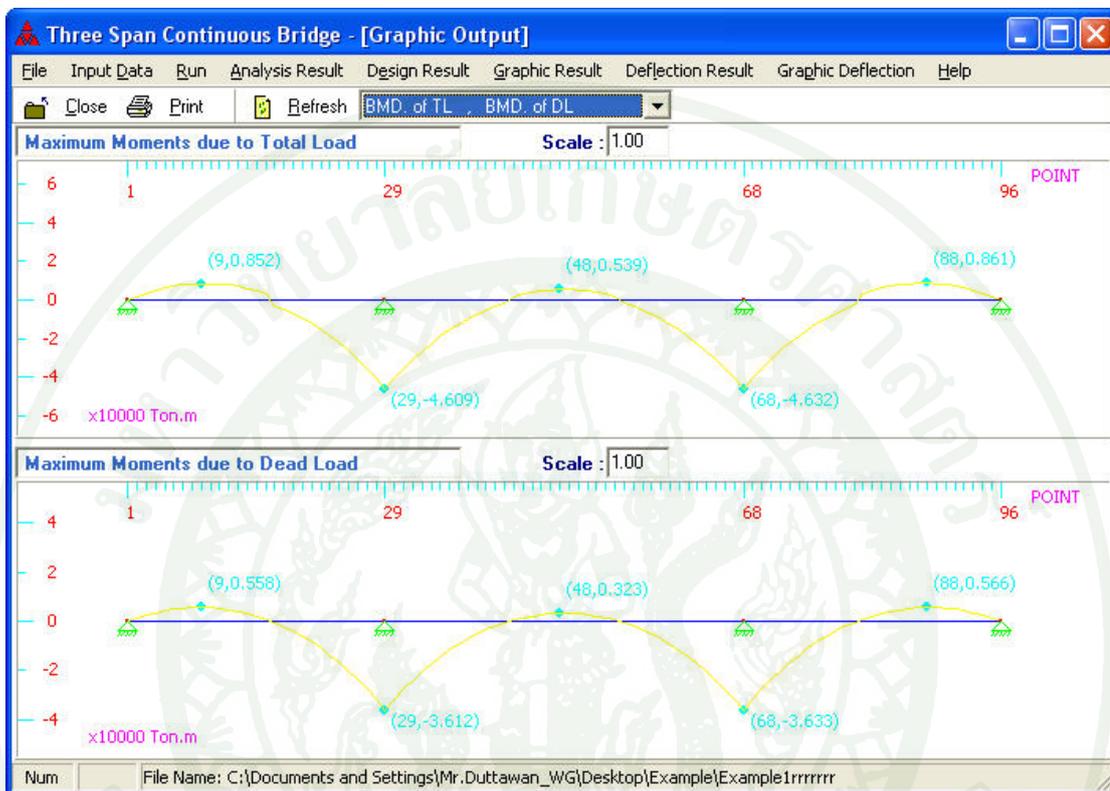
ภาพผนวกที่ 25 เส้นอิทธิพลของโมเมนต์คัตและแรงเฉือน

- Support Reaction แสดงเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ



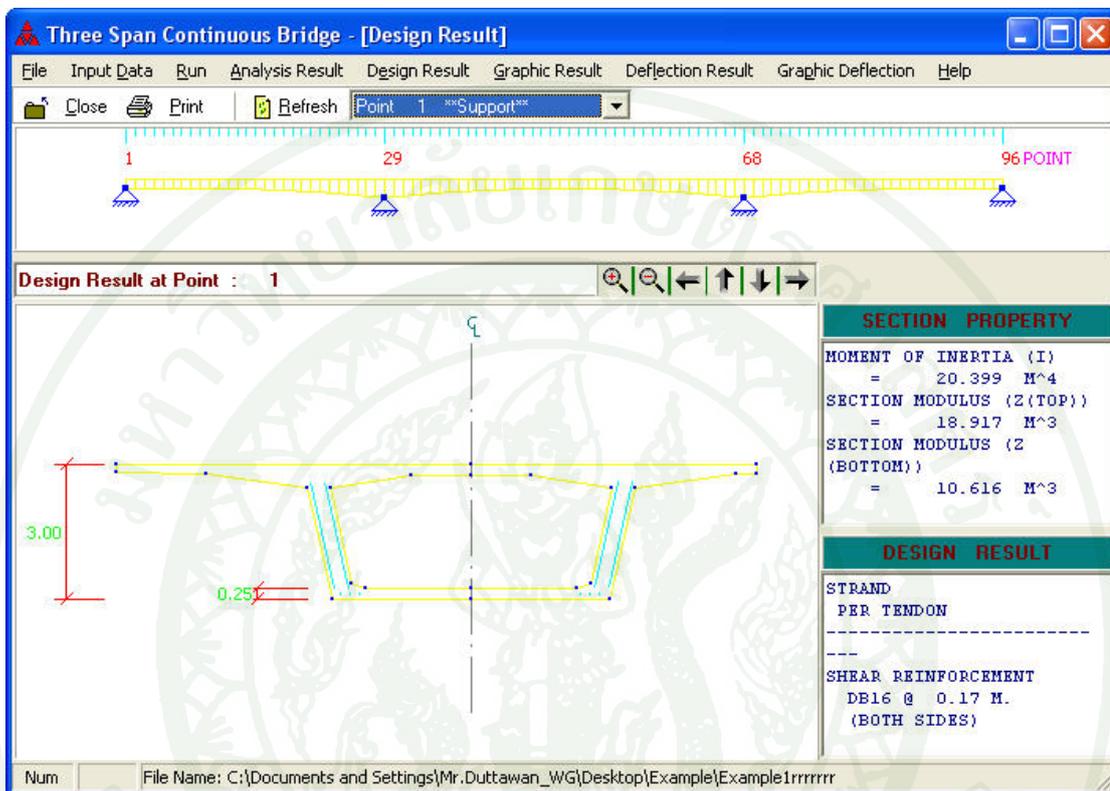
ภาพผนวกที่ 26 เส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

- Maximum Force แสดงไดอะแกรมของโมเมนต์คัตและแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO ดังนี้



ภาพผนวกที่ 27 โมเมนต์คัตและแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO

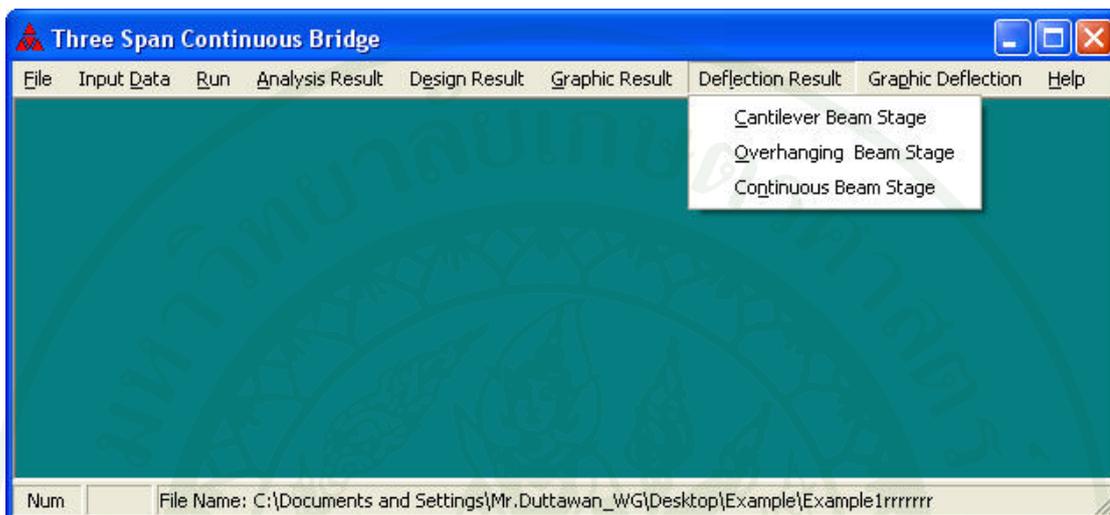
- Design Result สำหรับแสดงผลการออกแบบหน้าตัดคอนกรีตอัดแรง โดยจะแสดงปริมาณลวดอัดแรงและเหล็กเสริมรับแรงเฉือน



ภาพผนวกที่ 28 ผลการออกแบบหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรง

7. การวิเคราะห์ระยะโค้งของสะพานตามขั้นตอนการก่อสร้าง

7.1 การแสดงผลระยะโค้งที่เกิดขึ้นสามารถเรียกได้จากเมนูหลัก Deflection Result โดยแยกผลของระยะโค้งออกเป็นส่วนๆ ดังนี้



ภาพผนวกที่ 29 ผลการวิเคราะห์ระยะโค้ง

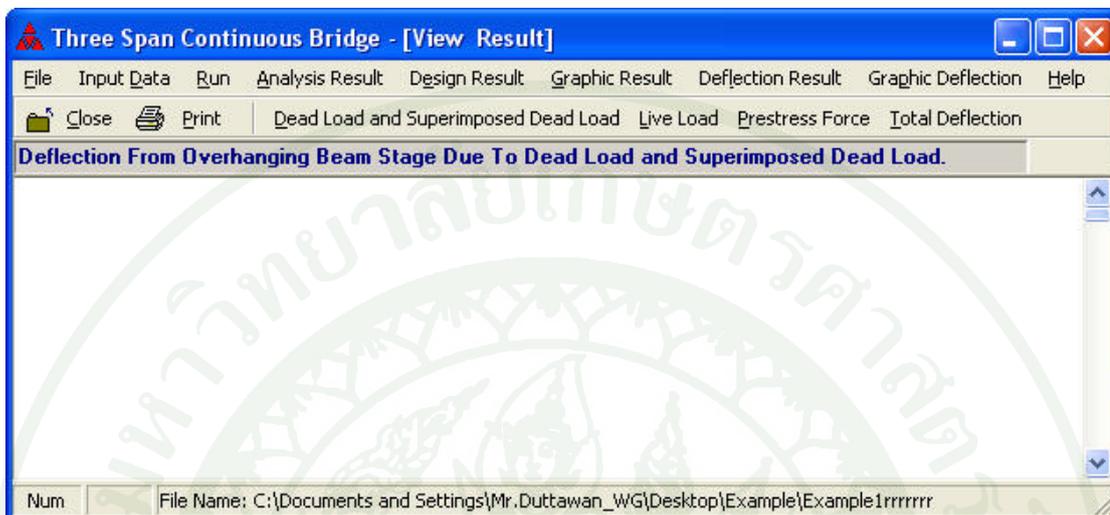
- Cantilever Beam Stage แสดงค่าระยะโค้งในคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน
- Overhanging Beam Stage แสดงค่าระยะโค้งในคานช่วงเดี่ยวยปลายยื่น
- Continuous Beam Stage แสดงค่าระยะโค้งในคานต่อเนื่องสามช่วง



ภาพผนวกที่ 30 ผลการวิเคราะห์ระยะ โกงของคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน

- Cantilever Beam Stage แสดงค่าระยะ โกงและมุมหมุนของคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน โดยแยกเป็น 4 ส่วน คือ
 - Dead Load and Superimposed Dead Load แสดงค่าระยะ โกงและมุมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่
 - Live Load แสดงค่าระยะ โกงและมุมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกจร
 - Prestress Force แสดงค่าระยะ โกงและมุมหมุนที่เกิดจากแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรง
 - Total Deflection แสดงผลรวมค่าระยะ โกงและมุมหมุน

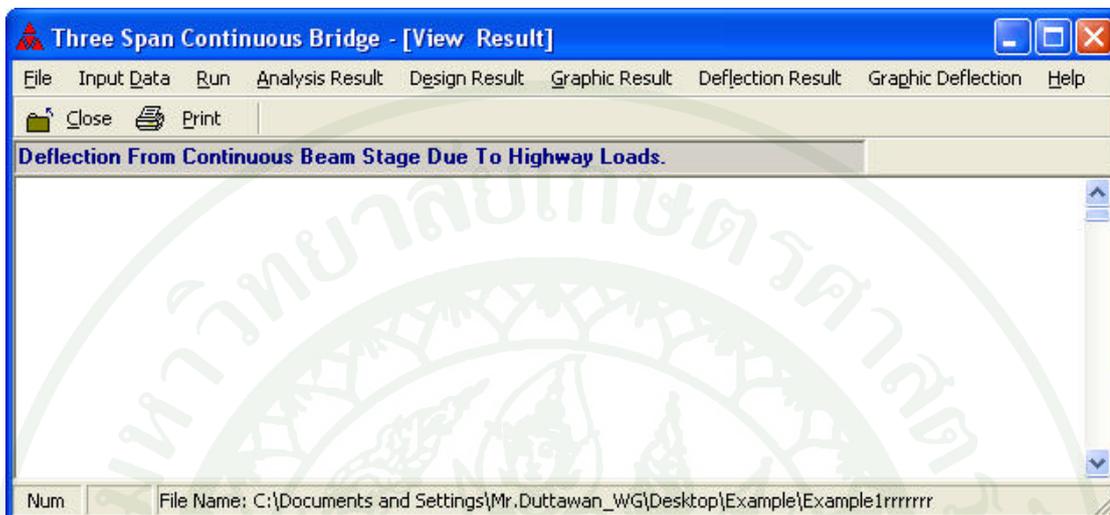
- Overhanging Beam Stage แสดงค่าระยะ โกงและมูมหมุนของคานช่วงเดี่ยวปลายยื่น โดยแยกเป็น 4 ส่วน คือ



ภาพผนวกที่ 31 ผลการวิเคราะห์ระยะ โกงของคานช่วงเดี่ยวปลายยื่น

- Dead Load and Superimposed Dead Load แสดงค่าระยะ โกงและมูมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่
- Live Load แสดงค่าระยะ โกงและมูมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร
- Prestress Force แสดงค่าระยะ โกงและมูมหมุนที่เกิดจากแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรง
- Total Deflection แสดงผลรวมค่าระยะ โกงและมูมหมุน

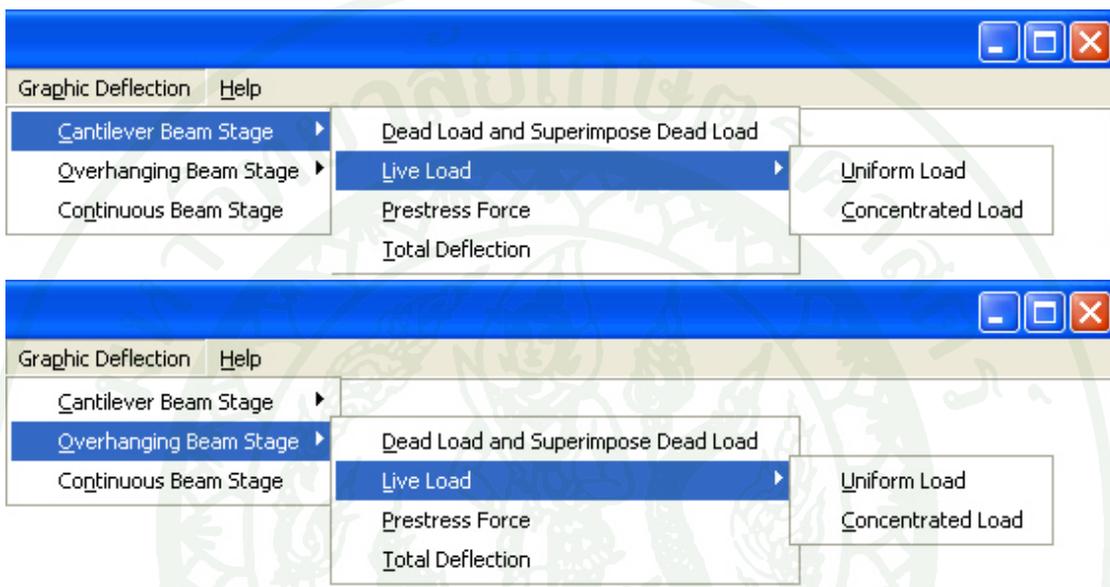
- Continuous Beam Stage แสดงค่าระยะ โกงและมุมหมุนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก ตามมาตรฐานของ AASHTO ของคานต่อเนื่องสามช่วง



ภาพผนวกที่ 32 ผลการวิเคราะห์ระยะ โกงของคานต่อเนื่องสามช่วง

7.2 แสดงผลระยะโก่งและมูมหมุนแบบแผนภาพ

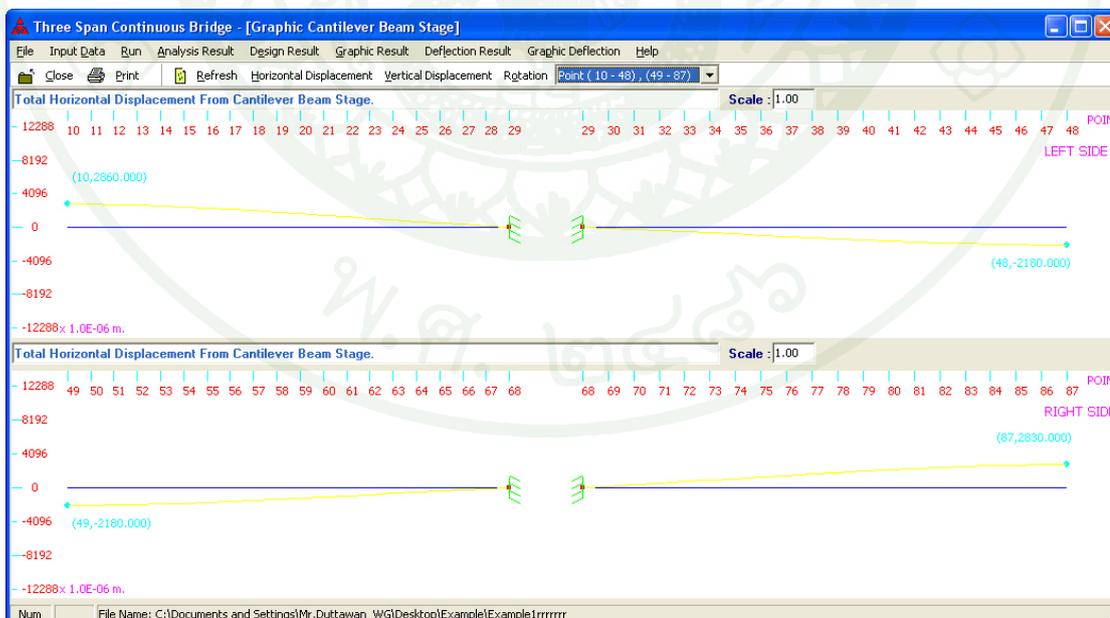
- Graphic Deflection แสดงระยะโก่งและมูมหมุนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ ได้แก่ สะพานที่มีลักษณะเป็นคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน คานช่วงเดี่ยวยปลายยื่น และคานต่อเนื่องสามช่วง ดังนี้



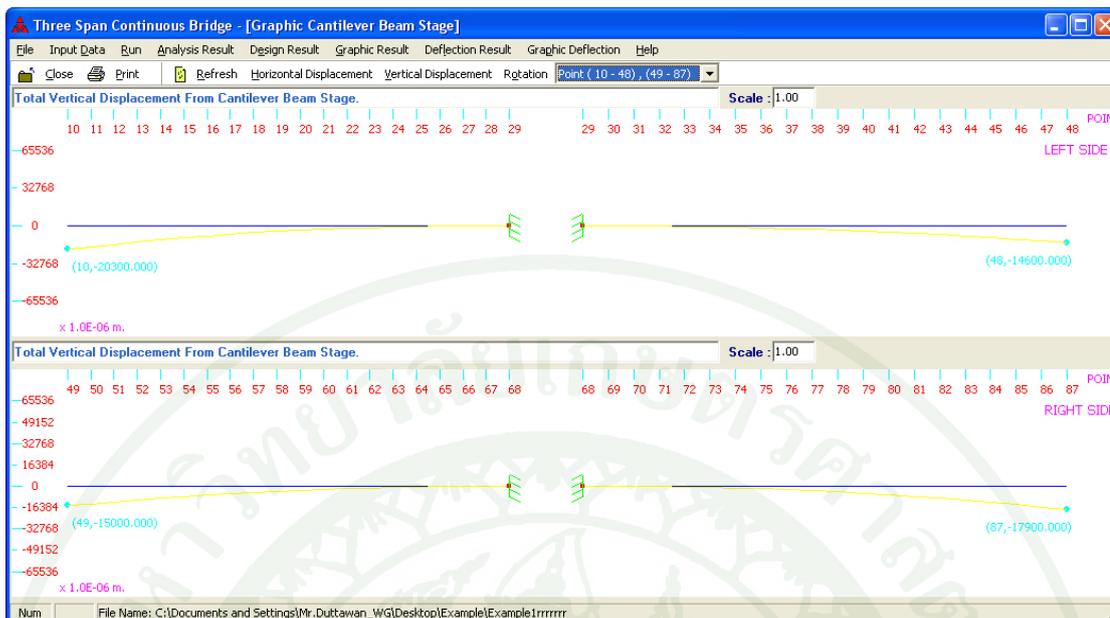
ภาพผนวกที่ 33 เมนูย่อยของ Graphic Deflection

- Cantilever Beam Stage แสดงระยะโก่งและมูมหมุนของคานปลายยื่นสมคูลสองด้าน โดยแยกเป็น 4 ส่วน คือ
 - Dead Load and Superimposed Dead Load แสดงระยะโก่งและมูมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่
 - Horizontal Displacement ระยะโก่งในแนวราบ
 - Vertical Displacement ระยะโก่งในแนวตั้ง
 - Rotation มูมหมุน
 - Live Load แสดงเส้นระยะโก่งและมูมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร
 - Horizontal Displacement ระยะโก่งในแนวราบ

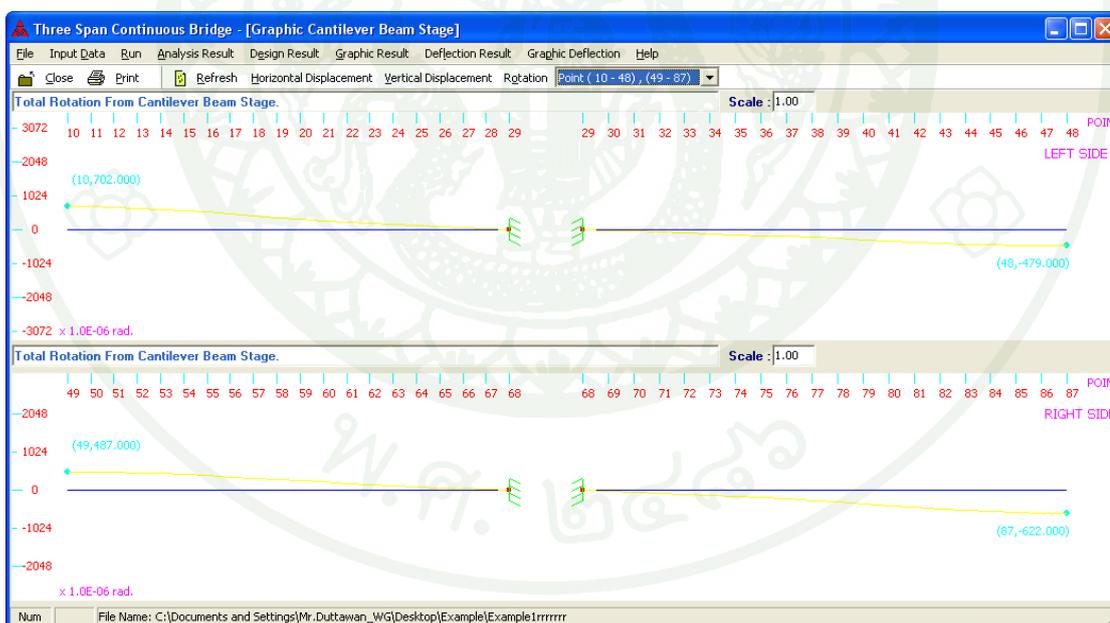
- Vertical Displacement ระยะโก่งในแนวตั้ง
- Rotation มุมหมุน
- Prestress Force แสดงระยะโก่งและมุมหมุนที่เกิดจากแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรง
 - Horizontal Displacement ระยะโก่งในแนวราบ
 - Vertical Displacement ระยะโก่งในแนวตั้ง
 - Rotation มุมหมุน
- Total Deflection แสดงผลรวมของระยะโก่งและมุมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรง
 - Horizontal Displacement ระยะโก่งในแนวราบ
 - Vertical Displacement ระยะโก่งในแนวตั้ง
 - Rotation มุมหมุน



ภาพผนวกที่ 34 ผลรวมของระยะโก่งในแนวราบที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานปลายยื่นสมดุลสองด้าน

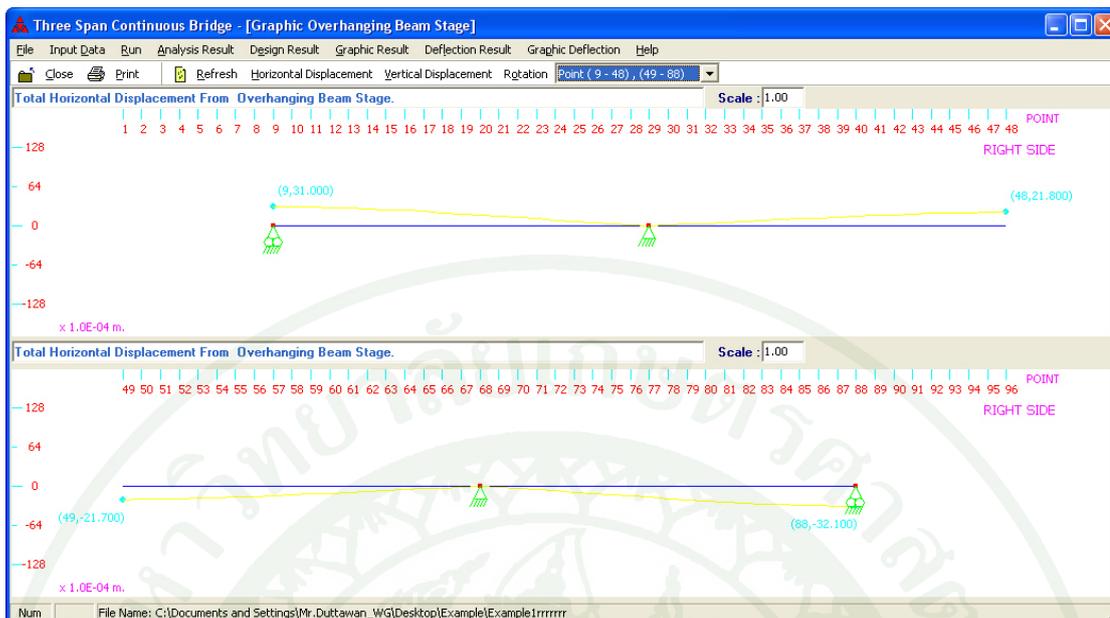


ภาพผนวกที่ 35 ผลรวมของระยะ โกงในแนวตั้งที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานปลายยื่นสมดุลงสองด้าน

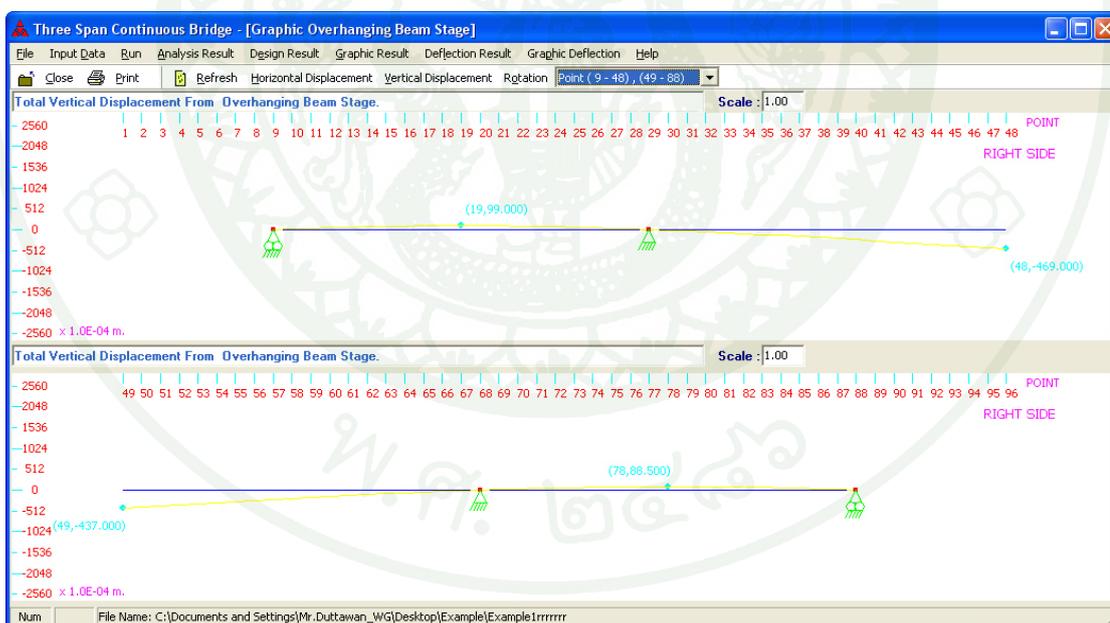


ภาพผนวกที่ 36 ผลรวมของมุมหมุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานปลายยื่นสมดุลงสองด้าน

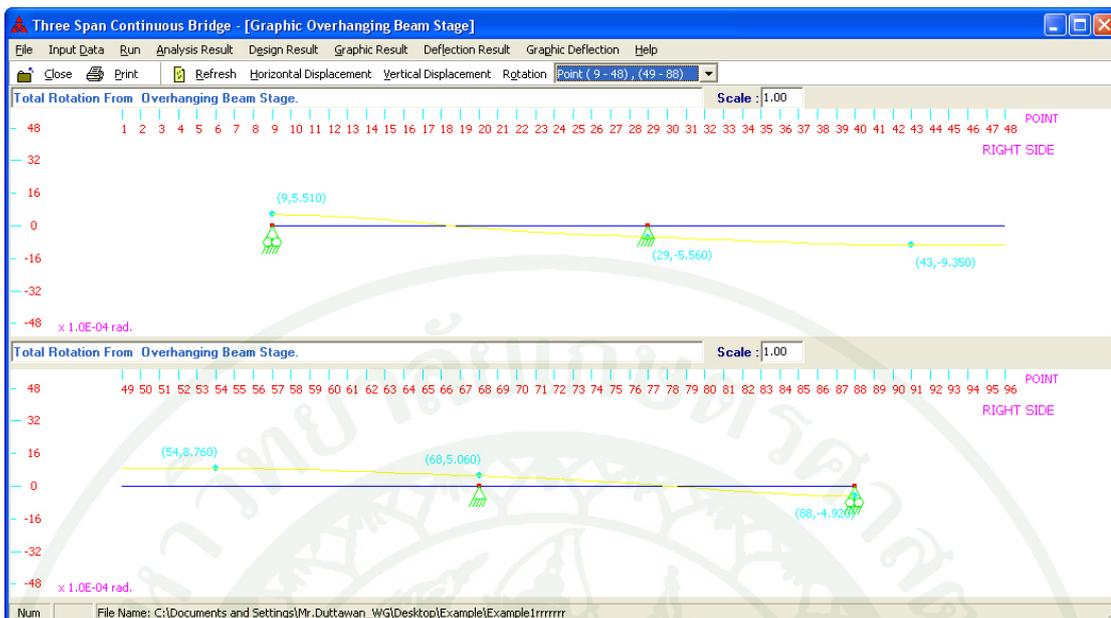
- Overhanging Beam Stage แสดงระยะโก่งและมุมหมุนของคานช่วงเดี่ยวยปลายยื่น โดยแยกเป็น 4 ส่วน คือ
 - Dead Load and Superimposed Dead Load แสดงระยะโก่งและมุมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่
 - Horizontal Displacement ระยะโก่งในแนวราบ
 - Vertical Displacement ระยะโก่งในแนวตั้ง
 - Rotation มุมหมุน
 - Live Load แสดงระยะโก่งและมุมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร
 - Horizontal Displacement ระยะโก่งในแนวราบ
 - Vertical Displacement ระยะโก่งในแนวตั้ง
 - Rotation มุมหมุน
 - Prestress Force แสดงระยะโก่งและมุมหมุนที่เกิดจากแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรง
 - Horizontal Displacement ระยะโก่งในแนวราบ
 - Vertical Displacement ระยะโก่งในแนวตั้ง
 - Rotation มุมหมุน
 - Total Deflection แสดงผลรวมของระยะโก่งและมุมหมุนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงดึงประสิทธิผลในลวดอัดแรง
 - Horizontal Displacement ระยะโก่งในแนวราบ
 - Vertical Displacement ระยะโก่งในแนวตั้ง
 - Rotation มุมหมุน



ภาพผนวกที่ 37 ระยะ โกงในแนวราบที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานช่วงเดียวปลายยื่น

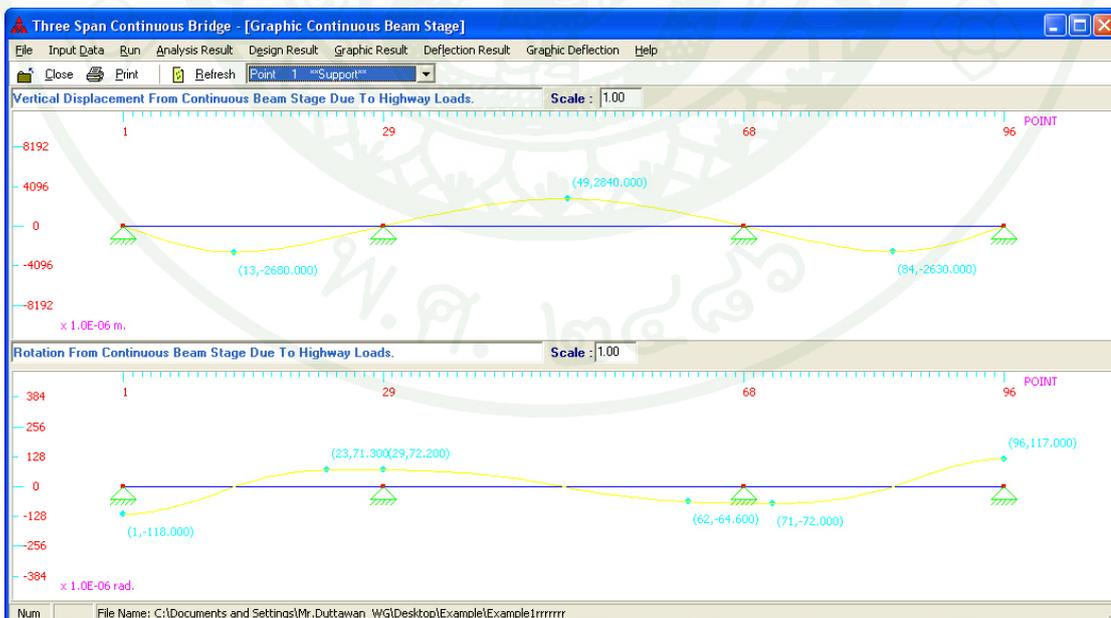


ภาพผนวกที่ 38 ระยะ โกงในแนวตั้งที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานช่วงเดียวปลายยื่น



ภาพผนวกที่ 39 มุมหมุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดของคานช่วงเดี่ยวยปลายยื่น

- Continuous Beam Stage แสดงระยะโค้งและมุมหมุนของคานต่อเนื่องสามช่วงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกตามมาตรฐานของ AASHTO



ภาพผนวกที่ 40 ระยะโค้งในแนวดิ่งที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกของคานต่อเนื่องสามช่วง

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ - นามสกุล	นายคุณตะวัน วิไลวงษ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 9 มีนาคม พ.ศ. 2528
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองราชบุรี จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	ปี 2550 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา (เกียรตินิยม) จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี 2550 ปริญญาตรี นิติศาสตรบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง จังหวัดราชบุรี ปี 2550 ศึกษาต่อปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา หมวดวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี 2552 ปริญญาโท ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการภาครัฐและภาคเอกชน จากมหาวิทยาลัยศิลปากร
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
รางวัลและเกียรติคุณที่เคยได้รับ	ปี 2548 ได้รับทุนเรียนดี ประเภทคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี 2549 ได้รับทุนเรียนดี ประเภทคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้รับเหรียญทองเรียนดี จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี 2550 เป็นประธานชุมนุมสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา