



## บทที่ 4

### พฤติกรรมการัดของคานขวาง

ในบทนี้จะทำการศึกษาพฤติกรรมการัดของคานขวางตัวที่หงายกึ่งสำเร็จรูป โดยพิจารณาพฤติกรรมของส่วนบ่ารองรับซึ่งเป็นคานคอนกรีตสำเร็จรูปในขณะที่ยกมาติดตั้งและขณะหล่อคอนกรีตส่วนของเอวในระบบโครงสร้างชั่วคราว หลังจากนั้นพฤติกรรมการัดของระบบโครงสร้างแล้วเสร็จจะได้ศึกษาเปรียบเทียบกับคานขวางแบบหล่อในที่ทั้งหมด

#### 4.1 ขนาดหน้าตัดของคานขวางรูปตัวที่หงาย

ก่อนที่จะทำการศึกษาพฤติกรรมการัดของคานขวางรูปตัวที่หงาย ขนาดหน้าตัดของคานขวางควรจะทำให้เหมาะสมกับกำลังการรับแรงที่ต้องการและการปฏิบัติจริงในการดำเนินงานก่อสร้าง

##### 4.1.1 ความหนาและความกว้างของบ่ารองรับ ( $t_f, b_s$ ดูรูปที่ 2.2 ประกอบ)

การกำหนดขนาดหน้าตัดของคานขวางตัวที่หงายจะเริ่มจากค่าความหนาของบ่ารองรับ บ่ารองรับทำหน้าที่รับแรงที่ถ่ายผ่านมาจากคานหลักซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวช่วงของคานหลักและจำนวนช่องจราจร (ดูรูปที่ 4.1) ตารางที่ 4.1 แสดงค่าน้ำหนักถ่ายมาจากคานหลักสู่บ่ารองรับที่ใช้ในการออกแบบตามมาตรฐาน AASHTO ที่ใช้ในการศึกษานี้ ซึ่งกำลังรับแรงเฉือนในบ่ารองรับจะต้องเพียงพอในการต้านทานน้ำหนักนี้

ตารางที่ 4.1 ความสูงของคานหลักและน้ำหนักที่ถ่ายสู่บ่ารองรับ

ชนิดคานหลัก	ความยาวช่วงของคานหลัก (เมตร)	ความสูงคานหลัก (เมตร)	แรงที่ถ่ายสู่บ่ารองรับ (ตัน)
รูปตัวไอ	30	1.40	105
รูปตัวที	32	1.73	140
รูปตัวยู	35	1.75	195
รูปกล่อง D2	45	2.40	330
รูปกล่อง D3	45	2.40	430

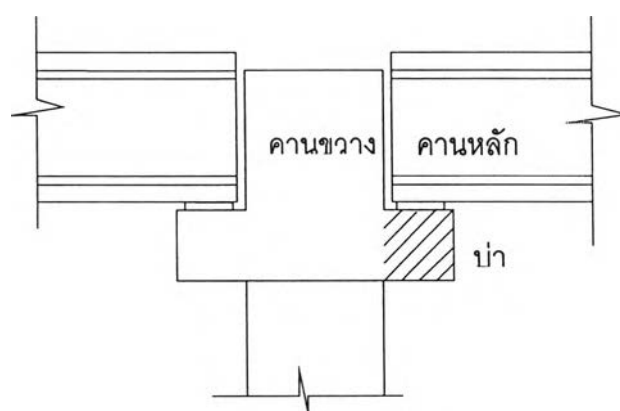
กำลังรับแรงเฉือนที่ต้องพิจารณามี 3 แบบ คือ กำลังรับแรงเฉือนทะลุ กำลังรับแรงเฉือนเสียดทาน และกำลังรับแรงเฉือนการอัดแตกในแท่งคอนกรีต ดังได้กล่าวถึงทฤษฎีการวิเคราะห์ในบทที่ 3

จากชนิดของคานหลักที่ใช้ในการศึกษานี้มี 4 แบบคือรูปตัวไอ รูปตัวที รูปตัวยู และ รูปกล่อง โดยคานแต่ละชนิดจะให้น้ำหนักของคานขวางต่างกัน ดังนั้นขนาดของแผ่นยางรองรับจึงต่างกัน และส่งผลให้ระยะจากขอบของส่วนเเวของคานขวางจนถึงศูนย์กลางของแผ่นยางรองรับต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อความลึกประสิทธิภาพของบ่ารองรับที่จะทำให้มีกำลังรับแรงเฉือนเพียงพอตามที่ต้องการ

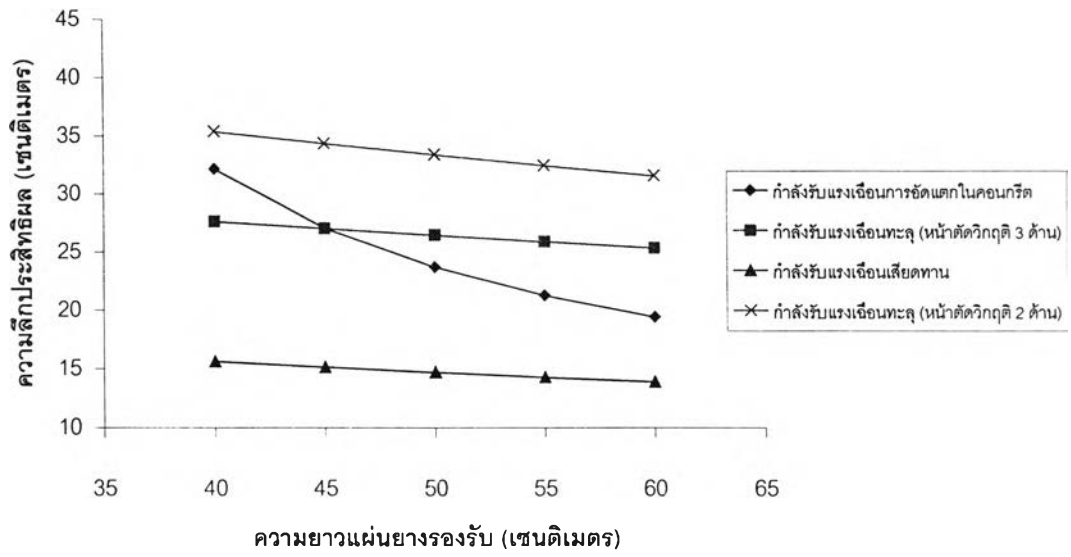
ในการศึกษานี้จะใช้ความกว้างของแผ่นยางรองรับ ( $B_w$ ) น้อยสุดเพื่อให้ขนาดของคานขวางถึงสำเร็จเล็กที่สุด ส่งผลให้น้ำหนักของคานขวางมีค่าน้อยซึ่งจะทำให้สะดวกในขั้นตอนก่อสร้างคานสำเร็จและการยกขึ้นติดตั้ง เมื่อกำหนดค่ากำลังอัดแตกของคอนกรีตเป็นค่าคงที่ (ในที่นี้ใช้  $f'_c = 350$  กก./ซม.<sup>2</sup>) ค่าความลึกประสิทธิภาพที่เหมาะสมของบ่าคานขวางจึงขึ้นอยู่กับความยาวแผ่นยางรองรับในด้านขนานกับแกนของคานขวาง ( $B$ ) รูปที่ 4.2-4.6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของแผ่นยางรองรับกับกำลังรับแรงเฉือนแบบต่างๆ ของคานหลักแต่ละแบบ การเปรียบเทียบความลึกประสิทธิภาพที่คำนวณจากกำลังรับแรงเฉือนวิธีต่างๆ จะพบว่าเมื่อค่า  $B$  น้อย ค่าความลึกประสิทธิภาพจะถูกควบคุมโดยกำลังรับแรงเฉือนแบบการอัดแตกในแท่งคอนกรีต และเมื่อ  $B$  มีค่ามากขึ้นจะได้ว่าความลึกประสิทธิภาพของบ่าคานขวางจะถูกควบคุมโดยกำลังรับแรงเฉือนแบบทะลุ

ค่าความหนาของบ่ารองรับควรจะทำกับค่าความลึกประสิทธิภาพบวกกับระยะหุ้มเหล็กอย่างน้อย 5 เซนติเมตร

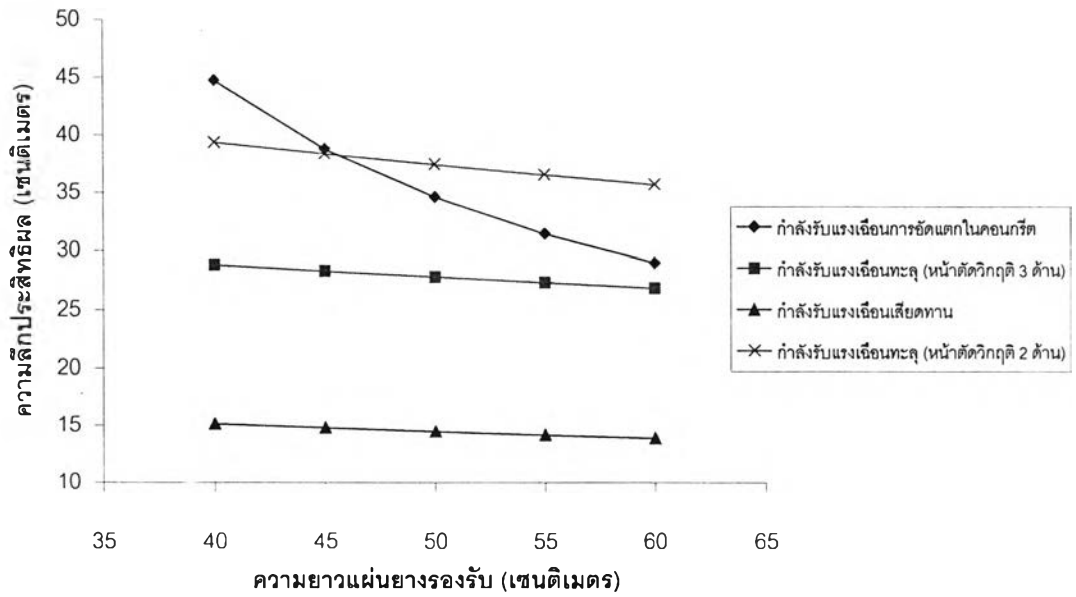
ค่าความกว้างของบ่ารองรับซึ่งวัดจากขอบของส่วนเเวโดยทั่วไปจะให้มีความเท่ากับสองเท่าของความกว้างแผ่นยางรองรับ



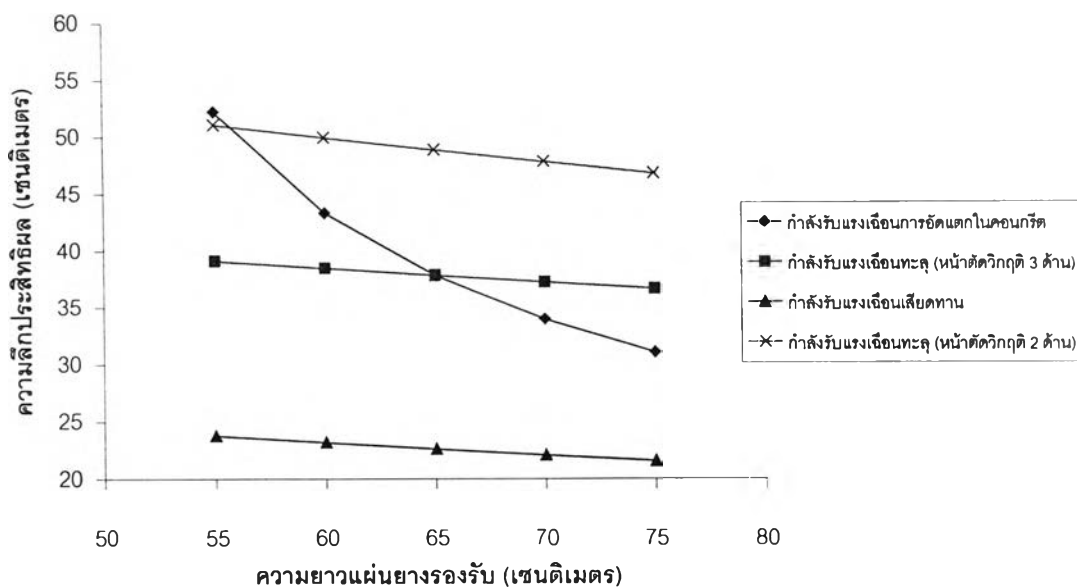
รูปที่ 4.1 การถ่ายแรงจากคานหลักสู่คานขวาง



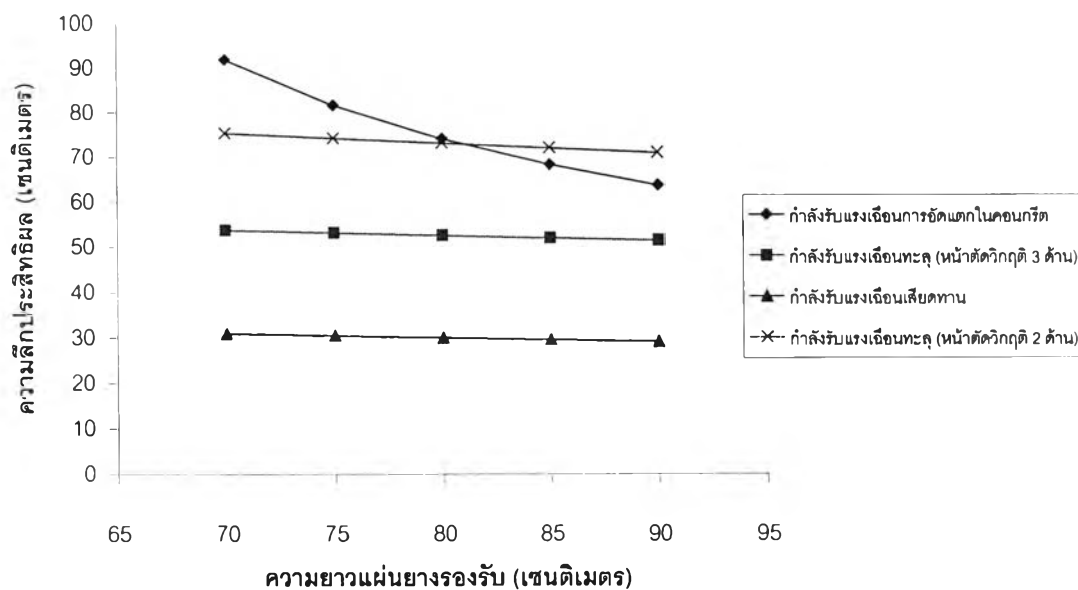
รูปที่ 4.2 ความลึกประสิทธิภาพผลของบําคานขวางที่รองรับคานหลักรูปตัวไอ



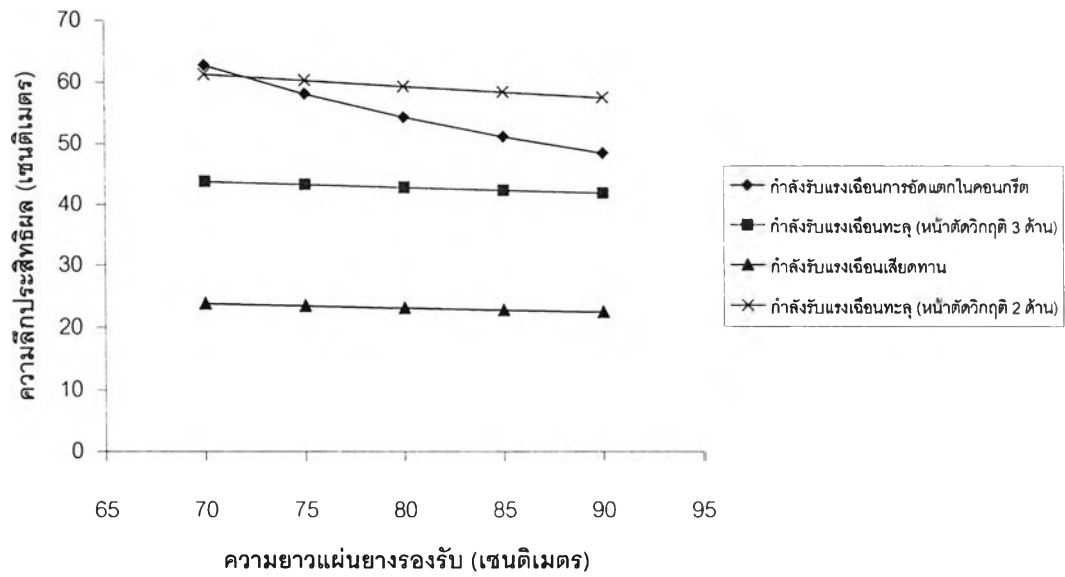
รูปที่ 4.3 ความลึกประสิทธิภาพผลของบําคานขวางที่รองรับคานหลักรูปตัวที



รูปที่ 4.4 ความลึกประสิทธิผลของบ่อกวนขวางที่รองรับคานหลักรูปตัวยู



รูปที่ 4.5 ความลึกประสิทธิผลของบ่อกวนขวางที่รองรับคานหลักรูปกล่อง D3



รูปที่ 4.6 ความลึกประสิทธิผลของบาคานขวางที่รองรับคานหลักรูปกล่อง D2

ตารางที่ 4.2 ความลึกประสิทธิผลของบาคานขวางที่รองรับหน้าตัดคานหลักชนิดต่างๆ

หน้าตัดคานหลัก	ความยาวช่วง (ม.)	ขนาดแผ่นรองรับ (ซม <sup>2</sup> )	ความลึกประสิทธิผล (ซม.)	ความหนาของบาคานขวาง (ซม.)
I Type IV	30	40 x 25	33	40
U girder (t = 1.75 ม.)	32	60 x 30	44	50
T girder	35	40 x 40	45	50
Box girder (D2)	45	70 x 60	66	70
Box girder (D3)	45	85 x 60	73	80

#### 4.1.2 ความกว้างและความสูงของส่วนเอว ( $b_w, t_w$ จากรูปที่ 2.2 ประกอบ)

ความสูงของส่วนเอวจะถูกกำหนดด้วยความสูงของคานหลักกล่าวคือจะต้องสูงน้อยกว่าคานหลักเพื่อเว้นช่องไว้สำหรับก่อสร้างแผ่นพื้นเชื่อมต่อระหว่างคานหลัก (link slab) ค่าความสูงของคานหลักแต่ละแบบให้ไว้ในตารางที่ 4.1

ส่วนค่าความกว้างของส่วนเอวจะได้รับการตรวจสอบกำลังโมเมนต์บนหน้าตัดให้มีค่าสูงกว่าค่าโมเมนต์ที่จะเกิดขึ้นจากน้ำหนักกระทำตามมาตรฐาน AASHTO โดยยื่นอยู่บนสมมติฐานว่าจะทำการเสริมเหล็กมากที่สุดตามสมการที่ (4.1)-(4.2) เพื่อให้ขนาดหน้าตัดของคานขวางเล็กสุดซึ่งจะช่วยให้การทำงานขณะทำการยกติดตั้งหรือการค้ำยันได้ง่ายขึ้นเพราะน้ำหนักคานน้อย

$$\rho_{\max} = 0.50 \rho_b \quad \text{สำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก} \quad (4.1)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0.32 \beta_1 f'_c}{f_{ps}} \quad \text{สำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรง} \quad (4.2)$$

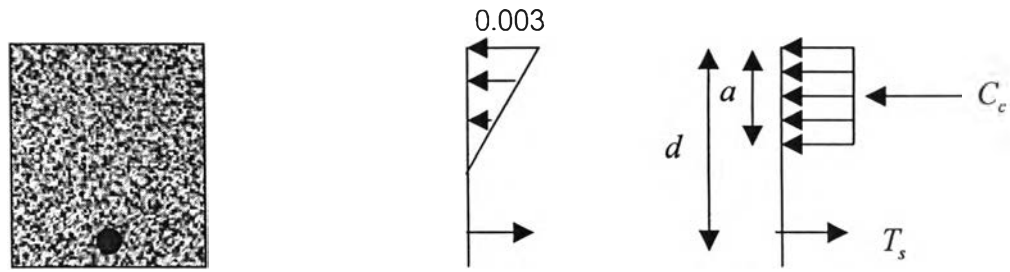
กำลังรับโมเมนต์ดัดจะคำนวณตามสมการที่ (4.3) โดยใช้หลักการวิเคราะห์หน้าตัด โดยสมมติการกระจายหน่วยแรงอัดในคอนกรีตคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ตามมาตรฐาน ACI318-05

$$\phi M_n = \phi T \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (4.3ก)$$

$$a = \frac{f_{ps} A_{ps}}{\beta_1 f'_c b_w} \quad (4.3ข)$$

$$T = f_{ps} A_{ps} \quad \text{สำหรับเหล็กเสริมอัดแรง} \quad (4.3ค)$$

$$T = f_y A_s \quad \text{สำหรับเหล็กเสริมปกติ} \quad (4.3ง)$$



(ก) หน้าตัดคาน (ข) การกระจายความเครียดที่สภาวะประลัย (ค) การกระจายหน่วยแรง

รูปที่ 4.7 การกระจายความเครียดและหน่วยแรงในการคำนวณกำลังรับโมเมนต์คาน

#### 4.1.3 ขนาดหน้าตัดที่ใช้ในการศึกษา (ดูรูป 2.2 ประกอบ)

ตารางที่ 4.3 สรุปขนาดของคานขวางรูปตัวทีที่หงายที่ใช้ในการศึกษานี้โดยแบ่งตามชนิดของคานหลักและจำนวนช่องการจราจรตามหลักการที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

ตารางที่ 4.3 ขนาดของคานขวางรูปตัวที่หมายถึงเหมาะสม

ชนิดของคานหลัก	ความยาวช่วง (เมตร)	จำนวนช่องจราจร	แผ่นยางรองรับ (เมตร x เมตร)	ความหนาของบ่า (เมตร)	ความกว้างของบ่า (เมตร)	ความสูงของเอว (เมตร)	ความกว้างของเอว (เมตร)
I Type IV	30	3	0.40 x 0.25	0.40	0.50	0.90	1.5
		4				0.90	2.5
		6				1.30	2.5
U girder (t = 1.75 ม.)	32	3	0.60 x 0.30	0.50	0.60	0.90	0.75
		4				1.70	1.00
		6				1.70	1.80
T girder	35	3	0.40 x 0.40	0.50	0.80	1.70	0.75
		4				1.70	1.25
		6				1.70	1.80
Box girder (D2)	45	-	0.70 x 0.60	0.70	1.20	-	-
		4				1.70	1.25
		-				-	-
Box girder (D3)	45	3	0.85 x 0.60	0.80	1.20	1.60	1.00
		-				-	-
		6				1.60	2.00



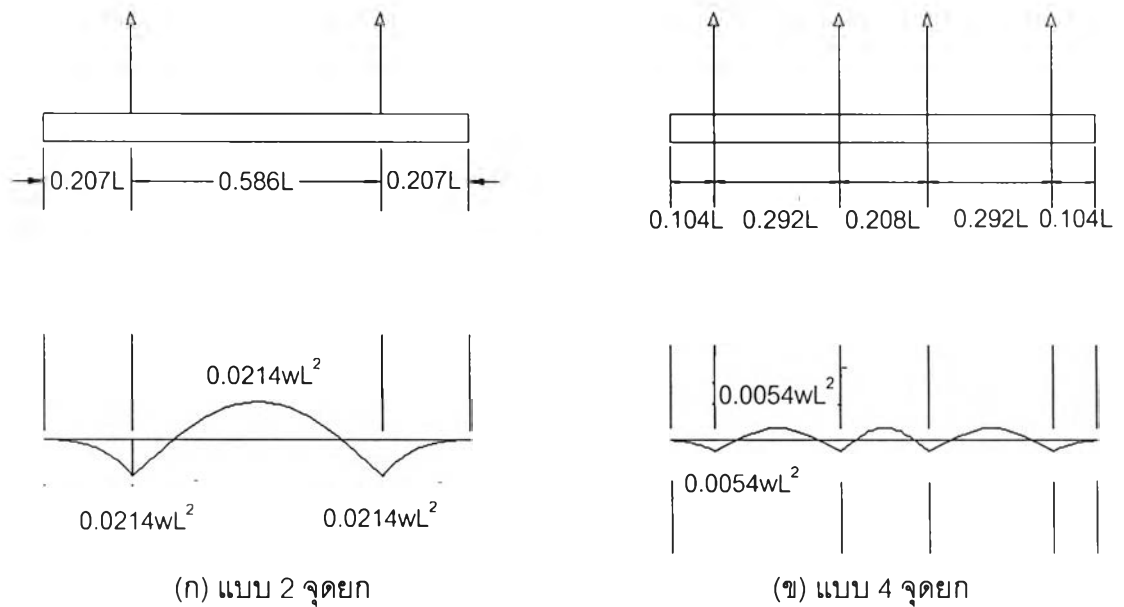
## 4.2 พฤติกรรมการดัดของคานขวางส่วนสำเร็จรูป (ชิ้นส่วนบารองรับ)

ในงานวิจัยนี้ส่วนของบารองรับจะถูกพิจารณาให้เป็นคานคอนกรีตสำเร็จรูปเพื่อทำหน้าที่เป็นห้องแบบสำหรับการหล่อในส่วนเวทของคานขวาง ซึ่งพฤติกรรมการดัดระหว่างการยกมาติดตั้งและระหว่างทำหน้าที่เป็นห้องแบบภายใต้ระบบโครงสร้างชั่วคราวจะต้องศึกษาเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแตกร้าวในขั้นตอนการก่อสร้างนี้

### 4.2.1 พฤติกรรมการดัดของคานขวางส่วนสำเร็จรูปขณะยกติดตั้ง

ตำแหน่งของจุดยกชิ้นส่วนคานคอนกรีตสำเร็จรูปจะต้องทำการศึกษาเพื่อป้องกันการเกิดรอยแตกร้าวในคาน ดังนั้นค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักตัวคานสำเร็จรูปขณะยกจะต้องไม่เกินค่ากำลังรับแรงดัดแตกร้าว (modulus of rupture) ของคอนกรีต จากการศึกษาพบว่าต้องใช้จุดยก 2 จุด สำหรับในกรณีที่มี 3 ช่องจราจร และใช้ 4 จุด สำหรับในกรณีที่มี 4 และ 6 ช่องจราจร

รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งจุดยกที่ทำให้ค่าโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการยกนี้ใกล้เคียงกัน โดยค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นนี้จะนำไปหาค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นโดยใช้ทฤษฎีอีลาสติกซึ่งสรุปค่าหน่วยแรงไว้ในตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจะไม่เกินค่าหน่วยแรงแตกร้าวหารด้วยตัวคูณความปลอดภัย (ในกรณีที่  $f'_c = 350$  กก./ซม.<sup>2</sup> หน่วยแรงแตกร้าวจะมีค่าเท่ากับ  $2.0\sqrt{f'_c} = 37.4$  กก./ซม.<sup>2</sup>) ค่าตัวคูณความปลอดภัยเท่ากับ 1.5 จะยอมให้เกิดหน่วยแรงเท่ากับ 25 กก./ซม.<sup>2</sup>



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งจุดยกคานขวางส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปและค่าโมเมนต์ที่ปรากฏ

ตารางที่ 4.4 ความกว้างของเอวของคานขวาง

ชนิดของคานหลัก	ความกว้างของเอวของคานขวาง ( $b_w$ ) สำหรับจำนวนช่องทางจราจร (เมตร)		
	3 ช่องทางจราจร	4 ช่องทางจราจร	6 ช่องทางจราจร
I	1.50	2.50	2.50
T	0.75	1.25	1.80
U	0.75	1.00	1.50
Box	1.00	1.25	2.00

ตารางที่ 4.5 แสดงน้ำหนักของชั้นส่วนสำเร็จรูป

ชนิดของคานหลัก	จำนวนช่องทางจราจร	ความยาวช่วงของคานขวาง (เมตร)	ความลึกของชั้นส่วนสำเร็จรูป (เมตร)	ความกว้างของชั้นส่วนสำเร็จรูป (เมตร)	น้ำหนักรวม (กก.)
I	3	14.8	0.40	2.50	35,570
	4	21.4		3.50	68,544
	6	29.6		3.50	96,096
T	3	14.8	0.50	2.35	41,736
	4	21.4		2.85	98,868
	6	29.6		3.40	120,768
U	3	14.8	0.50	1.95	34,632
	4	21.4		2.20	56,496
	6	29.6		2.70	95,904
Box D2	4	21.4	0.70	2.65	78,808
Box D3	3	14.8	0.80	3.4	56,329
	6	20.6	0.80	4.4	154,657

ตารางที่ 4.6 จำนวนจุดยกและหน่วยแรงสูงสุด

ชนิดของคานหลัก	จำนวนช่องทาง จราจร	ความยาวช่วงของ คานขวาง(เมตร)	จำนวนจุดยก	หน่วยแรงสูงสุด (กก./ชม. <sup>2</sup> )
I	3	14.8	2	16.89
	4	21.4	4	8.54
	6	29.6	4	16.80
T	3	14.8	2	13.82
	4	21.4	4	7.51
	6	29.6	4	14.38
U	3	14.8	2	13.5
	4	21.4	4	7.53
	6	29.6	4	14.38
Box (D2)	4	21.4	4	11.27
Box (D3)	3	14.8	2	25.33
	6	29.6	4	17.98

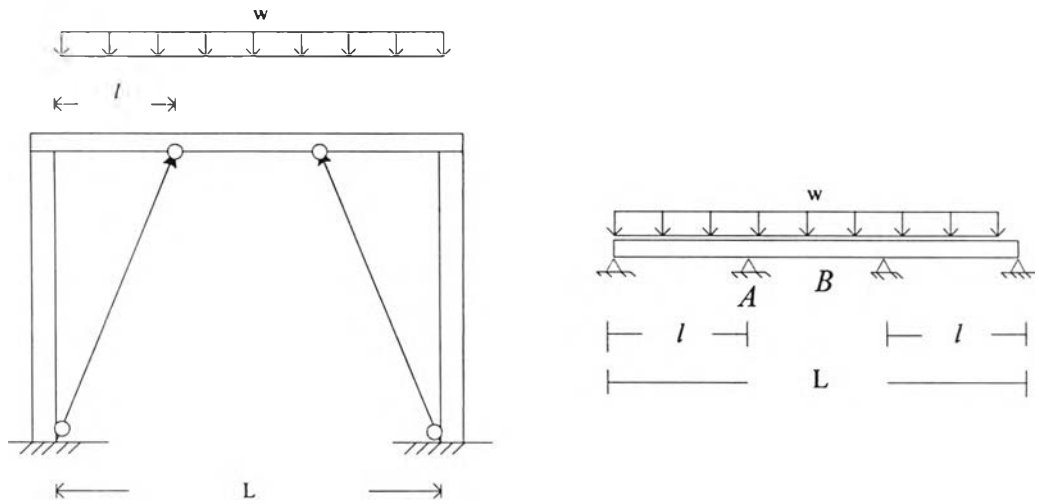
#### 4.2.2 พฤติกรรมการดัดของคานขวางส่วนสำเร็จรูปในระบบโครงสร้างชั่วคราว

หลังจากติดตั้งคานคอนกรีตสำเร็จรูปลงบนเสาแล้วจะมีการเทคอนกรีตหล่อคานขวางส่วนเอวที่เหลือ ในขั้นตอนก่อสร้างนี้จะมีระบบโครงสร้างชั่วคราวดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยโครงสร้างนี้จะมีน้ำหนักกระทำจากน้ำหนักของคานคอนกรีตหล่อสำเร็จ น้ำหนักของคอนกรีตเหลวที่หล่อในที่ น้ำหนักของแบบหล่อและน้ำหนักบรรทุกจรชั่วคราว

ในระบบโครงสร้างชั่วคราวจะมีค้ำยันเพื่อไม่ให้ค่าโมเมนต์ที่แต่ละหน้าตัดไม่มากเกินไป ระยะค้ำยันจะอยู่ห่างจากขอบเสาเท่ากับ  $l$  ดังนั้นพฤติกรรมของระบบโครงสร้างชั่วคราวจะเป็นคานต่อเนื่อง (ดูรูปที่ 4.9) ค่าโมเมนต์ลบที่จุด  $A$  ( $M_A$ ) และค่าโมเมนต์บวกที่จุด  $B$  ( $M_B$ ) จะสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4.4)-(4.5)

$$M_A = \left\{ \frac{\left(\frac{l}{L}\right)^2}{8} + \left[ \frac{0.75 - 1.5\left(\frac{l}{L}\right)}{0.75 - \left(\frac{l}{L}\right)} \right] \times \left[ \frac{2 - 8\left(\frac{l}{L}\right) + 5\left(\frac{l}{L}\right)^2}{24} \right] \right\} wL^2 \quad (4.4)$$

$$M_B = -M_A + \frac{wL^2 \left[ 1 - 2\left(\frac{l}{L}\right) \right]^2}{8} \quad (4.5)$$



รูปที่ 4.9 ระบบโครงสร้างชั่วคราว

การพิจารณาอัตราส่วนของค่า  $l/L$  ที่เหมาะสมคือที่ขนาดของโมเมนต์  $M_A$  และ  $M_B$  ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรขณะก่อสร้างต้องไม่เกินค่าโมเมนต์ตัดแตกตัวของหน้าตัดชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป จากการศึกษาในระยะค้ายันที่กำหนดเพื่อให้หน่วยแรงที่หน้าตัดวิกฤติไม่เกินค่าโมดูลัสแตกกร้าว ระบบโครงสร้างชั่วคราวที่รองรับคานหลักแต่ละแบบและจำนวนช่องจราจรได้เสนอไว้ในตารางที่ 4.7 และจากตำแหน่งค้ำยันชั่วคราวดังกล่าวได้สรุปหน่วยแรงและค่าการแอ่นตัวไว้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ระยะค้ำยัน ( $l/L$ ) ที่ไม่ทำให้เกิดหน่วยแรงเกินค่าโมดูลัสแตกกร้าว

คานหลัก	จำนวนช่องจราจร	L (เมตร)	( $l/L$ )
I	3	11.8	0.20
	4	17.4	0.30
	6	25.6	0.30
T	3	11.8	0.20
	4	17.4	0.30
	6	25.6	0.27
U	3	11.8	0.20
	4	17.4	0.30
	6	25.6	0.27
Box	3	11.8	0.27
	4	17.4	0.30
	6	25.6	0.30

ตารางที่ 4.8 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนโครงสร้างชั่วคราว

ชนิดของคานหลัก	ความยาวช่วงของโครงสร้างชั่วคราว (เมตร)	หน่วยแรงวิกฤติ (กิโลกรัม/ซม. <sup>2</sup> )	การแอ่นตัวชั่วคราว (มิลลิเมตร)
	11.80	36.40	2.46
I	17.40	37.00	1.72
	25.60	-7.40	2.97
	11.80	20.27	0.92
T	17.40	33.26	1.01
	25.60	-5.97	4.47
	11.80	19.94	0.75
U	17.40	30.47	0.79
	25.60	-7.50	3.82
	11.80	34.67	0.95
Box	17.40	32.40	0.97
	25.60	27.02	8.48

จากตารางที่ 4.8 สามารถแสดงให้เห็นว่าจุดค้ำยันในตารางที่ 4.7 สามารถควบคุมหน่วยแรงไม่เกินค่าโมดูลัสแตกร้าวได้

### 4.3 พฤติกรรมการตัดของคานขวางแล้วเสร็จ

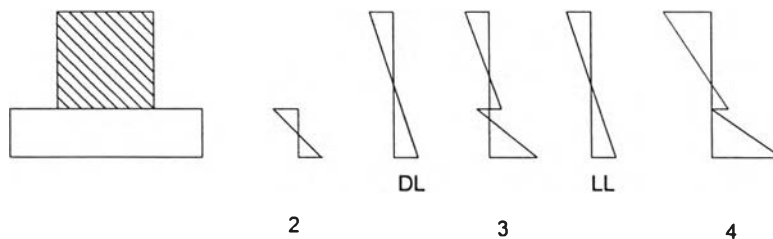
#### 4.3.1 ความสัมพันธ์ค่าโมเมนต์และค่าความโค้ง

ในขั้นตอนการก่อสร้างในระบบโครงสร้างชั่วคราวคอนกรีตสำเร็จรูปจะรับน้ำหนักของตัวเอง และคอนกรีตส่วนเอวที่ยังไม่แข็งตัวและน้ำหนักไม้แบบ หลังจากส่วนเอวแข็งตัวและหน้าตัดจะมีพฤติกรรมเป็นคานเชิงประกอบ น้ำหนักของคานหลักและน้ำหนักบรรทุกจะรับโดยหน้าตัดทั้งหมด รูปที่ 4.10 แสดงการกระจายค่าความเครียดในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง

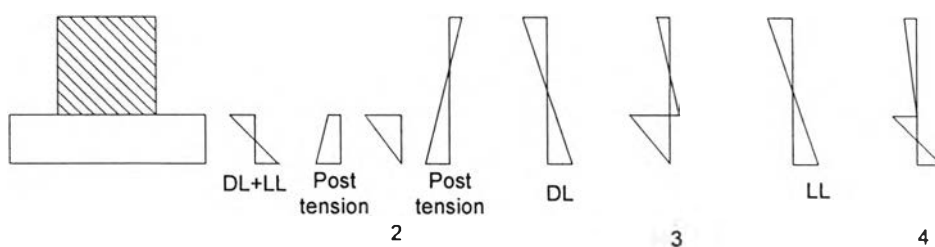
สำหรับกรณีคานคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรง อาจจำเป็นต้องมีการอัดแรง 2 ครั้ง การอัดแรงครั้งแรกเพื่อให้รับน้ำหนักคอนกรีตสดและแบบหล่อ และการอัดแรงอีกครั้งเพื่อให้หน้าตัดมีค่ากำลังดัดเพียงพอที่จะรับน้ำหนักทั้งหมดขณะใช้งานจริง

เพื่อศึกษาพฤติกรรมของคานขวางกึ่งสำเร็จแล้วเสร็จ ตัวอย่างของคานขวางที่รองรับคานหลักตัวไอจำนวนช่องจรรยาจร 3, 4, และ 6 จะนำมาศึกษาหาความสัมพันธ์โมเมนต์และค่าความโค้งดังแสดงในรูปที่ 4.11-4.13 จากความสัมพันธ์นี้จะทำให้ทราบค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดและค่าความเหนียวของคานขวางกึ่งสำเร็จ ในกรณีที่คานขวางนี้ต้องรองรับจำนวนช่องจรรยาจร 3 และ 4 ช่อง คานขวางจะเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กปกติจะมีค่าความเหนียวมาก เมื่อเทียบกับคาน

ขวางต้องรองรับจำนวนช่องจราจร 6 ช่อง ซึ่งเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงจะมีค่าความเหนียวน้อย อย่างไรก็ตามโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงจะให้ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดสูงขึ้นมาซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งในกรณีที่คานขวางต้องรองรับจำนวนช่องจราจรมาก

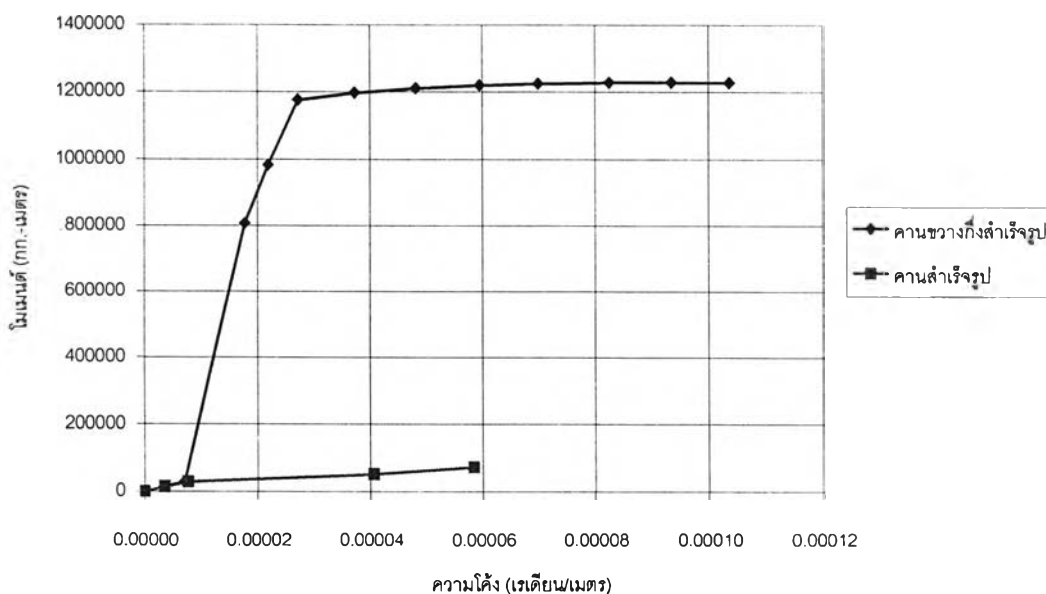


(ก) การกระจายตัวของความเครียด ตามขั้นตอนการก่อสร้างของหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็ก

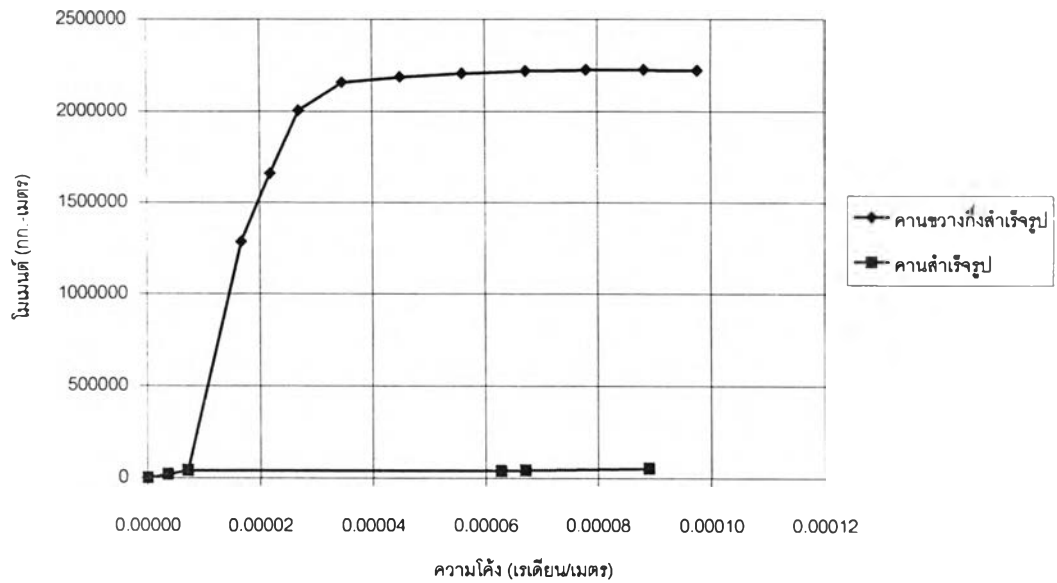


(ข) การกระจายตัวของความเครียด ตามขั้นตอนการก่อสร้างของหน้าตัดคอนกรีตอัดแรง

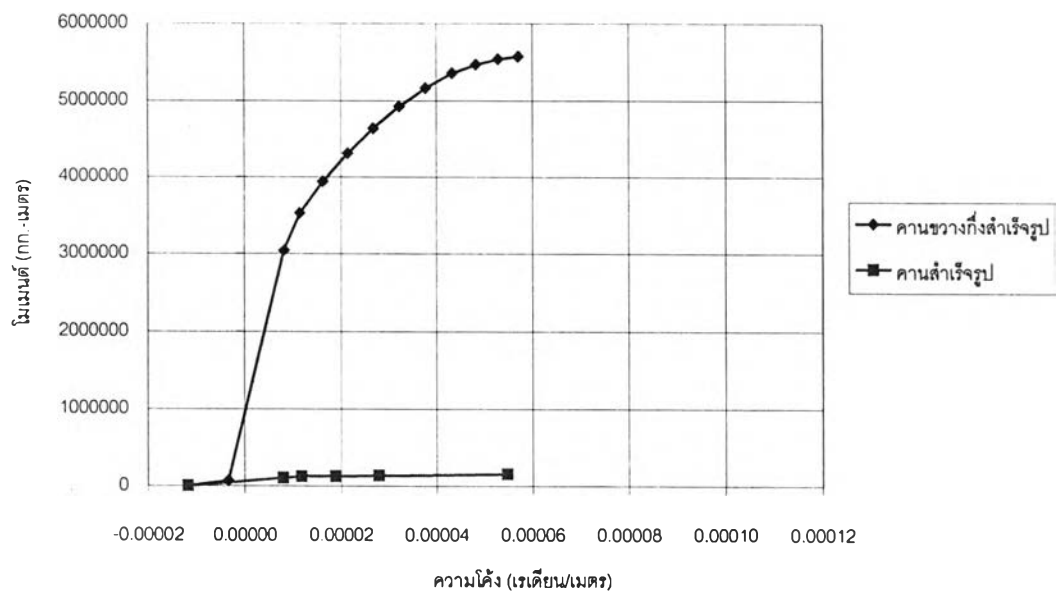
รูปที่ 4.10 การกระจายตัวของความเครียดตามขั้นตอนการก่อสร้าง



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของค่าโมเมนต์และค่าความโค้งของคานขวางรองรับคานหลักรูปตัวไอ จำนวนช่องจราจร 3 ช่อง



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของค่าโมเมนต์และค่าความโค้งของคานขวาง  
รองรับคานหลักรูปตัวไอ จำนวนช่องจรรยา 4 ช่อง



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของค่าโมเมนต์และค่าความโค้งของคานขวาง  
รองรับคานหลักรูปตัวไอ จำนวนช่องจรรยา 6 ช่อง

#### 4.3.2 การแอนตัวของคานขวางกึ่งสำเร็จรูป

การแอนตัวของโครงสร้างคานขวางแล้วเสร็จคำนวณจากการแอนตัวสะสมจาก  
ขั้นตอนโครงสร้างชั่วคราว ในการศึกษาครั้งนี้จะตัวอย่างผลการวิเคราะห์การแอนตัวของโครงสร้าง  
คานขวางรองรับคานหลัก I girder โดยมีความยาวช่วง 30 เมตร

ตารางที่ 4.9 การแอ่นตัวที่วิเคราะห์ได้ของคานขวางกึ่งสำเร็จรูปที่รองรับคานหลักตามขั้นตอนการก่อสร้าง

I girder

ความยาวช่วงคาน ขวาง (ม.)	โครงสร้างชั่วคราว (มม.)	วางคาน หลัก (มม.)	หล่อแผ่น พื้น (มม.)	น้ำหนัก บรรทุกจร (มม.)	รวมการ แอ่นตัว (มม.)	ค่าที่ยอมให้ (มม.)	กรณีหล่อในที่ (มม.)	การแอ่นตัวระยะยาว (มม.)
14.8	2.46	2.68	3.43	1.43	10.00	61.67	7.04	22.01
21.4	1.39	5.68	7.108	2.83	17.00	89.17	15.69	38.73
29.6	3.53	-3.77	11.32	4.472	15.55	123.33	13.64	32.17

T girder

ความยาวช่วงคาน ขวาง (ม.)	โครงสร้างชั่วคราว (มม.)	วางคาน หลัก (มม.)	หล่อแผ่น พื้น (มม.)	น้ำหนัก บรรทุกจร (มม.)	รวมการ แอ่นตัว (มม.)	ค่าที่ยอมให้ (มม.)	กรณีหล่อในที่ (มม.)	การแอ่นตัวระยะยาว (มม.)
14.8	0.92	2.21	2.28	0.63	6.04	61.67	5.17	10.94
21.4	1.01	5.78	5.67	1.7	14.15	89.17	14.15	32.81
29.6	4.46	-3.93	9.63	2.49	12.65	123.33	10.92	27.90



ตารางที่ 4.9 การแอ่นตัวที่วิเคราะห์ได้ของคานขวางกึ่งสำเร็จรูปที่รองรับคานหลักตามขั้นตอนการก่อสร้าง (ต่อ)

U girder

ความยาวช่วงคาน ขวาง (ม.)	โครงสร้าง ชั่วคราว (มม.)	วางคาน หลัก (มม.)	หล่อแผ่น พื้น (มม.)	น้ำหนัก บรรทุกจร (มม.)	รวมการ แอ่นตัว (มม.)	ค่าที่ยอมให้ (มม.)	กรณีหล่อในที่ (มม.)	การแอ่นตัวระยะยาว (มม.)
14.8	0.74	1.42	1.770	0.618	4.556	61.67	3.59	9.44
21.4	0.79	3.99	5.01	1.228	9.794	89.17	10.40	25.04
29.6	3.82	-8.70	10.65	2.928	5.778	123.33	4.96	17.37

Box girder

ความยาวช่วงคาน ขวาง (ม.)	โครงสร้าง ชั่วคราว (มม.)	วางคาน หลัก (มม.)	หล่อแผ่น พื้น (มม.)	น้ำหนัก บรรทุกจร (มม.)	รวมการ แอ่นตัว (มม.)	ค่าที่ยอมให้ (มม.)	กรณีหล่อในที่ (มม.)	การแอ่นตัวระยะยาว (มม.)
14.8	0.95	4.01	0.93	0.58	6.46	61.67	5.56	11.61
21.4	0.97	7.57	1.47	0.76	10.77	89.17	9.88	24.54
29.6	8.48	6.14	4.98	2.59	22.190	123.33	15.94	51.59



จากผลการวิเคราะห์ที่ยกตัวอย่างมาพบว่าถึงแม้การแอ่นตัวของคานขวางกึ่งสำเร็จรูปจะมากกว่าการแอ่นตัวในกรณีคานขวางหล่อในที่เล็กน้อย แต่ยังอยู่ในพิกัดที่ยอมให้ ( $L/240$ )

4.3.3 การแตกร้าวของคานขวางกึ่งสำเร็จรูป

ความกว้างของรอยร้าวคำนวณจากสมการของ Gergely และ Lutz (1968) โดยคำนวณจากน้ำหนักในสภาวะใช้งานของคานขวางคอนกรีตเสริมเหล็กที่รองรับช่องจราจร 3 และ 4 ช่อง โดยทฤษฎีการคำนวณความกว้างของรอยร้าวได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 จากผลการคำนวณความกว้างรอยร้าวในตารางที่ 4.10 ความกว้างของรอยร้าว ยังอยู่ในพิกัดที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของ ACI-224 ที่ให้ไว้เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร สำหรับโครงสร้างภายนอก

ตารางที่ 4.10 ความกว้างของรอยร้าวที่วิเคราะห์ได้จากคานขวางกึ่งสำเร็จรูป

ชนิดของคานหลัก	จำนวนเลน	ความยาวช่วงของคานขวาง (เมตร)	ความกว้างของรอยร้าว (มิลลิเมตร)	โมเมนต์ตัน-เมตร
I	3	14.8	0.2028	598
	4	21.4	0.2030	1,011
T	3	14.8	0.1577	838
	4	21.4	0.2160	1,971
U	3	14.8	0.1800	692
	4	21.4	0.1830	1,335
Box girder	3	14.8	0.0204	1,776
	4	21.4	0.0208	2,105

4.3.4 หน่วยแรงของคานขวางคอนกรีตกึ่งสำเร็จรูป

สำหรับคานขวางของทางยกระดับจำนวนช่องจราจร 6 ช่องนั้นได้ตรวจสอบหน่วยแรงตามขั้นตอนการก่อสร้างได้ดังนี้ (รูปอธิบายตำแหน่งของหน่วยแรงในตารางที่ 4.11)



โครงสร้างชั่วคราว      หลังจากอัดแรง      วางคานหลัก      สภาวะใช้งาน

รูปที่ 4.14 ใช้แสดงตำแหน่งของหน่วยแรงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 หน่วยแรงของคานขวางตามขั้นตอนการก่อสร้าง

ชนิดของคานหลัก	โครงสร้างชั่วคราว (กก./ชม. <sup>2</sup> )	หลังจากอัดแรง (กก./ชม. <sup>2</sup> )	หลังจากวางคานหลัก (กก./ชม. <sup>2</sup> )	สภาวะใช้งาน (กก./ชม. <sup>2</sup> )
I		20.24	-27.69	-101.54
		-81	-62.96	-35
	-4.56	-126	-107.5	-79.7
	-7.4	-104.485	-66.15	-7.09
T		12.27	-57.6	-148
		-91	-61	-23
	-54.03	-145	-115	-77.5
	-5.97	-105.5	-49	22.31
U		36	-11.7	-34.01
		-70	-54.16	-46.33
	-48.5	-119.6	102.6	-94.8
	-7.5	-108.7	-72.63	-55.95
box		37	-84.15	-127.6
		-50.4	-127.55	-34.8
	-41.18	-139.5	-38.86	-124
	27.02	-76.48	2.73	30.52

จากค่าหน่วยแรงที่คำนวณได้จากหน้าตัดคานขวางคอนกรีตอัดแรงได้ค่าหน่วยแรงสูงสุดแต่ละขั้นตอนไม่เกินค่าโมดูลัสแตกร้าวซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดไว้ที่ 37.4 กก./ชม.<sup>2</sup> จากคอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัย 350 กก./ชม.<sup>2</sup>