ภาคผนวก ก

การออกแบบตัวอย่างทดสอบ

ก 1) ตัวอย่างทดสอบที่ 1 (Specimen 1)

ก 1.1) ออกแบบคานเหล็กเชื่อมต่อผนังรับแรงเฉือน (Link Beam)

คานเหล็กเชื่อมต่อผนังรับแรงเฉือนของตัวอย่างทดสอบนี้เป็นตัวอย่างทดสอบที่จะทำการออกแบบให้มีพฤติกรรมการคราดแบบแรงเฉือนและมีพฤติกรรมคล้ายกับงานวิจัยในอดีต [7] ซึ่งมีค่า $M_p/eV_p = 1.77$ ดังนั้นจึงการเลือกใช้เหล็กแผ่นสำหรับทำคานเหล็กหน้าตัดประกอบรูปตัวไอให้มีความหนาใกล้เคียงกัน

คุณสมบัติวัสดุ

เหล็กแผ่นความหนา 4.5 มิลลิเมตร

ชั้นคุณภาพ	=	SS400	
หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (F_y)	=	3,000	ksc
หน่วยแรงดึงประลัย (F_u)	=	4,100	ksc

เหล็กแผ่นความหนา 16 มิลลิเมตร

ชั้นคุณภาพ	=	A36	
หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (F_y)	=	3,000	ksc
หน่วยแรงดึงประลัย (F_u)	=	4,100	ksc

จากผลการทดสอบในอดีตกำลังรับแรงเฉือนที่กระทำกึ่งกลางคานเหล็กสูงสุดประมาณ 10,000 กิโลกรัม การออกแบบในงานวิจัยนี้จึงออกแบบโดยให้มีกำลังรับแรงเฉือนที่กระทำกึ่งกลางคานเหล็กสูงสุดไม่เกิน 10,000 กิโลกรัม เช่นกัน

$h_{wl} = \frac{V_p}{0.6 f_y t_w}$	=	12(12.3)	cm
$M_{p(old)} = 1.77 eV_p$	=	7,190	kg -m
b_f From $(M_{p(old)} = Z_x f_y)$	=	12(10.2)	cm
$V_{p(new)}$	=	9,720	kg
$M_{p(new)}$	=	7,014	kg -m
$\frac{1.6M_p}{V_p}$	=	1.154	m

$\therefore \quad (e = 0.812 \le \frac{1.6M_p}{V_p})$ Short link

Plate flange	=	40.6x10x1.6	cm
Plateweb	=	40.6x12x0.45	cm

ก 1.2) ออกแบบจุดต่อยึดรั้งบางส่วน (Partially Restrained Connection)

ตัวอย่างทดสอบนี้จะใช้จุดต่อรูปแบบ Top and Seat Angle with Double Web Angle เป็นจุดต่อสำหรับยึดคานเหล็กเข้ากับผนังรับแรงเฉือน ซึ่งในการออกแบบจะใช้วิธี Three Parameter Power Model [9]

$$\frac{M}{M_u} = \frac{\theta/\theta_0}{\left[1+\left(\theta/\theta_0\right)^n\right]^{1/n}} \qquad \text{(ก-1)}$$

เมื่อ n คือสัมประสิทธิ์กำหนดความอ่อน (Flexibility) ของจุดต่อ θ คือมุมหมุนของจุดต่อ และ θ_0 คือมุมหมุนอ้างอิง $= M_u / R_{ki}$

R_{ki} คือสติฟเนส (Stiffness) รวมของเหล็กฉาก

$$R_{ki} = K_{it} + K_{is} + K_{ia} \qquad \text{(ก-2)}$$

เมื่อ K_{it} คือค่าสติฟเนสเริ่มต้นของเหล็กฉากด้านบน $= \frac{3EI_t(d_1)^2}{g_1(g_1^2 + 0.78t_t^2)}$

K_{is} คือค่าสติฟเนสเริ่มต้นของเหล็กฉากด้านล่าง $= \frac{4EI_s}{I_{so}}$

K_{ia} คือค่าสติฟเนสเริ่มต้นของเหล็กฉากที่เอวคานเหล็ก $= \frac{6EI_a(d_3)^2}{g_3(g_3^2 + 0.78t_a^2)}$

EI_t คือความแข็งแกร่งการดัดของเหล็กฉากบน $= \frac{El_t(t_t)^3}{12}$

EI_s คือความแข็งแกร่งการดัดของเหล็กฉากล่าง $= \frac{El_s(t_s)^3}{12}$

EI_a คือความแข็งแกร่งการดัดของเหล็กฉากที่เอวคานเหล็ก $= \frac{El_a(t_a)^3}{12}$

$g_3 = g_c - \frac{w}{2} - \frac{t_t}{2}$

$$g_1 = g_t - \frac{w}{2} - \frac{t_t}{2}$$

$$d_1 = d + \frac{t_s}{2} + \frac{t_t}{2}$$

$$d_3 = \frac{d}{2} + \frac{t_s}{2}$$

และ M_u คือผลรวมของโมเมนต์ต้านทานที่เกิดจากเหล็กฉาก

$$M_u = M_{os} + M_{pt} + V_{pt} d_2 + 2V_{pa} d_4$$

เมื่อ M_{os} คือกำลังรับแรงโมเมนต์ของเหล็กฉากด้านล่าง $= \frac{f_y l_s t_s^2}{4}$

M_{pt} คือกำลังรับแรงโมเมนต์พลาสติกของเหล็กฉากด้านบน $= \frac{V_{pt} g_2}{2}$

V_{pt} คือแรงเฉือนพลาสติกของเหล็กฉากแนวตั้งด้านบน ซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์นี้

$$\left(\frac{V_{pt}}{V_{ot}}\right)^4 + \frac{g_2}{t_t}\left(\frac{V_{pt}}{V_{ot}}\right) - 1 = 0 \qquad \text{(ก-3)}$$

โดยที่ V_{ot} คือกำลังแรงเฉือนที่เหล็กฉากด้านล่าง $= \frac{f_y l_s t_s}{2}$

g_2 คือระยะระหว่างจุดที่เกิดโมเมนต์พลาสติกของเหล็กฉากด้านบน $= g_t - k_t - \frac{w}{2} - \frac{t_t}{2}$

d_2 คือระยะจากจุดหมุนถึงแรง V_{pt} ซึ่ง $= d - \frac{t_s}{2} - k_t$

V_{pa} คือผลรวมแรงเฉือนพลาสติกของเหล็กฉากที่เอวคานเหล็ก $= \frac{(V_{pu} + V_{oa}) l_a}{2}$

V_{pu} คือแรงเฉือนพลาสติกของขอบบนเหล็กฉากที่เอวคานเหล็ก

ซึ่ง V_{pu} สามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$\left(\frac{V_{pu}}{V_{oa}}\right)^4 + \frac{g_y}{t_a}\left(\frac{V_{pu}}{V_{oa}}\right) - 1 = 0 \qquad \text{(ก-4)}$$

เมื่อ V_{oa} คือแรงเฉือนพลาสติกของขอบล่างเหล็กฉากที่เอว $= \frac{f_y t_a}{2}$

g_y คือระยะที่เกิดโมเมนต์พลาสติกของเหล็กฉากที่เอวคานเหล็ก $= g_c - k_a$

d_4 คือระยะจากจุดหมุนถึงแรง V_{pa} ซึ่ง $= \frac{l_a(2V_{pu} + V_{oa})}{\{3(V_{pu} + V_{oa})\}} + l_1 + t_s/2$

l_1 คือจากขอบเหล็กฉากที่เอวคานเหล็กถึงจุดหมุน $= d_1 - l_a$

และ n คือตัวแปรของรูปร่าง (Shape parameter) $= 1.398\log_{10}\theta_o + 4.631, \log\theta_o > -2.721$ ในกรณีอื่นๆ $n = 0.827$

แรงโมเมนต์ดัด M ที่นำมาออกแบบจุดต่อเพิ่มกำลัง 1.1 เท่าจากแรงโมเมนต์ดัดที่เกิดบริเวณจุดต่อ

$M = 1.1V_p \frac{e}{2}$ = 4,485 kg -m

โดยทำการเลือกขนาดสำหรับเหล็กฉากบน เหล็กฉากล่าง เหล็กฉากที่เอวคาน และสลักเกลียวที่เหมาะสมและสามารถรับแรงโมเมนต์ได้ ซึ่งเหล็กฉากและสลักเกลียวที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเหล็กฉากที่มีขนาดและชั้นคุณภาพที่สามารถหาได้ทั่วไปดังนี้

เหล็กฉากตัวบน L130x130x15 mm (Top Angle)

ชั้นคุณภาพ	=	A36	
หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (F_y)	=	2,880	ksc
หน่วยแรงดึงประลัย (F_u)	=	4,457	ksc

เหล็กฉากตัวล่าง L130x130x15 mm (Seat Angle)

ชั้นคุณภาพ	=	A36	
หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (F_y)	=	2,880	ksc
หน่วยแรงดึงประลัย (F_u)	=	4,457	ksc

เหล็กฉากตัวบน L75x75x12 mm (Web Angle)

ชั้นคุณภาพ	=	A36	
หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (F_y)	=	3,457	ksc
หน่วยแรงดึงประลัย (F_u)	=	5,032	ksc

สลักเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลิเมตร (M16)

ชั้นคุณภาพ	=	10.9	
หน่วยแรงเฉือนที่จุดคราก (F_v)	=	6,360	ksc
หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (F_y)	=	9,850	ksc
หน่วยแรงดึงประลัย (F_u)	=	10,600	ksc

สลักเกลียวสำหรับฝังกับผนังรับแรงเฉือนขนาดเส้นผ่านานศูนย์กลาง 20 มิลิเมตร (M20)

ชั้นคุณภาพ	=	10.9	
หน่วยแรงเฉือนที่จุดคราก (F_v)	=	6,360	ksc
หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (F_y)	=	9,850	ksc
หน่วยแรงดึงประลัย (F_u)	=	10,600	ksc

การคำนวณค่า R_{ki}

EI_t	=	6,655,000	kg –mm^2
EI_s	=	6,655,000	kg –mm^2
EI_a	=	3,123,000	kg –mm^2
g_1	=	30	mm
g_3	=	20	mm
d_1	=	167	mm
l_{so}	=	103	mm

d_3	=	83.5	mm
K_{it}	=	17,695,000	kN –mm /rad
K_{is}	=	258,000	kN –mm /rad
K_{ia}	=	14,112,000	kN –mm /rad
$\therefore\ R_{ki}$	=	32,000	kN –mm /rad

การคำนวณค่า M_u

V_{ot}	=	273	kN
g_2	=	2.72	kN –mm /rad

จากความสัมพันธ์ $\left(\frac{V_{pt}}{V_{ot}}\right)^4 + \frac{g_2}{t_t}\left(\frac{V_{pt}}{V_{ot}}\right) - 1 = 0$

V_{pt}	=	261	kN
M_{pt}	=	355	kN –mm
M_{os}	=	2,052	kN –mm
V_{oa}	=	1.82	kN
g_y	=	21.5	mm

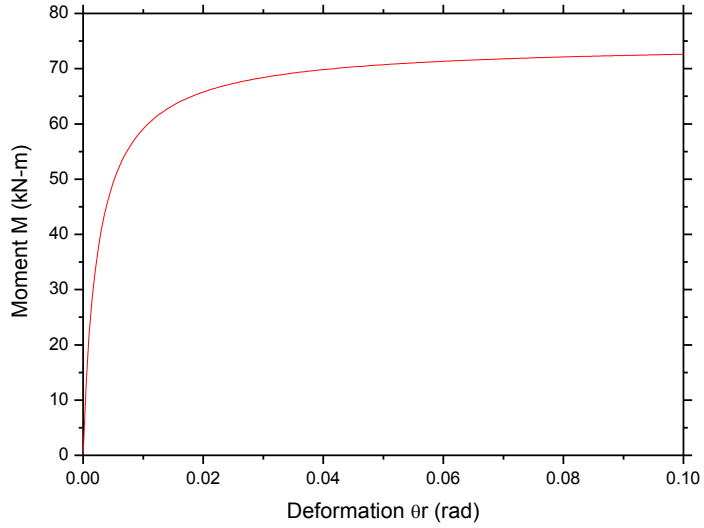
จากความสัมพันธ์ $\left(\frac{V_{pu}}{V_{oa}}\right)^4 + \frac{g_y}{t_a}\left(\frac{V_{pu}}{V_{oa}}\right) - 1 = 0$

V_{pu}	=	0.945	kN
V_{pa}	=	152	kN
M_u	=	74,750	kN –mm

การคำนวณค่า n

θ_0	=	0.00233	rad
$\log\theta_0$	=	-2.632	
$\therefore\ n\ \ (\log\theta_0 = -2.63 > -2.721)$	=	0.95	

จากรายการคำนวณการออกแบบจุดต่อที่ได้กล่าวมาในข้างต้นสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์โมเมนต์ดัดกับมุมการเสียรูปของตัวอย่างทดสอบที่ 1

จากความสัมพันธ์ (รูปที่ ก.1) สามารถใช้วิธี Bilinear Approximate ได้ค่าโมเมนต์ดัดได้ 4,653 กิโลกรัม –เมตร ที่มุมการเสียรูป 0.04 เรเดียน

ก 1.3) ตรวจสอบสลักเกลียวสำหรับยึดจุดต่อกับคานเหล็ก (Bolt)

ก 1.3.1) สลักเกลียวสำหรับยึดเหล็กฉากบนและล่างเข้ากับคานเหล็ก (Bolt at top and seat angle and beam flange)

จากการออกแบบจุดต่อได้เลือกสลักเกลียวสำหรับยึดเหล็กฉากบนที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร จำนวน 4 ตัว โดยแรงเฉือนที่สลักเกลียวนี้ได้รับคือ V_{pt} ซึ่งเท่ากับ 261 กิโลนิวตัน

พื้นที่หน้าตัดเฉือนของสลักเกลียว (M16)	=	2.01	cm^2
จำนวนสลักเกลียวที่ใช้	=	4	units
กำลังรับแรงเฉือนที่รับได้	=	38,350(376)	kg (kN)

$\therefore$ Bolt 4M16 **OK**

ก 1.3.2) สลักเกลียวสำหรับยึดเหล็กฉากที่เอวคานเหล็กเข้ากับคานเหล็ก (Bolt at web angle and beam web)

จากการออกแบบจุดต่อได้เลือกสลักเกลียวสำหรับยึดเหล็กฉากที่เอวคานเหล็กที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัว โดยแรงเฉือนที่สลักเกลียวนี้ได้รับคือ V_{pa} ซึ่งเท่ากับ 152 กิโลนิวตัน

พื้นที่หน้าตัดเฉือนของสลักเกลียว (M16)	=	2.01	cm^2
จำนวนสลักเกลียวที่ใช้	=	2	units
กำลังรับแรงเฉือนที่รับได้	=	38,350(376)	kg (kN)

$\therefore$ Bolt 2M16 **OK**

ก 1.4) ตรวจสอบสลักเกลียวสำหรับยึดจุดต่อกับคานเหล็ก (Anchor rod)

ก 1.4.1) สลักเกลียวสำหรับยึดเหล็กฉากบนและล่างกับผนัง (Anchor rod at top and seat angle and shear wall)

จากการออกแบบจุดต่อได้เลือก Anchor rod สำหรับยึดเหล็กฉากบนและล่างกับผนังไว้ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัว โดยแรงดึงที่สลักเกลียวนี้ได้รับคือ V_{pt} ซึ่งเท่ากับ 261 กิโลนิวตัน

พื้นที่หน้าตัดเฉือนของสลักเกลียว (M20)	=	3.14	cm^2
จำนวนสลักเกลียวที่ใช้	=	2	units
กำลังรับแรงเฉือนที่รับได้	=	45,144(442)	kg (kN)

$\therefore$ Bolt 2M20 **OK**

ก 1.4.2) สลักเกลียวสำหรับยึดเหล็กฉากที่เอวคานเหล็กกับผนัง (Anchor rod at web angle and shear wall)

จากการออกแบบจุดต่อได้เลือก Anchor rod สำหรับยึดเหล็กฉากที่เอวคานเหล็กกับผนังไว้ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร จำนวน 4 ตัว ซึ่ง Anchor rod ที่บริเวณนี้จะได้รับผลกระทบจากแรงดึง แรงเฉือน และแรงดัด ดังนั้นจึงต้องตรวจสอบผลกระทบของแรงทั้งสาม [12] และ [13] ดังนี้

$$\left(\frac{4P}{\pi d_u^2}+\frac{6klV}{d_u^3}\right)^2+\left(\frac{V}{0.15\pi d_u^2}\right)^2=\left(nF_u\right)^2$$

โดยแรงดึง $(P=V_{pa})$ ที่รับมีค่าเท่ากับ 152 กิโลนิวตัน และแรงเฉือนที่กระทำที่กึ่งกลางคาน (V) เท่ากับ 98.1 กิโลนิวตัน

เส้นผ่านศูนย์กลางที่คิดผลเกลียว (d_u)	=	0.642	inch
ความยาวช่วงดัด (l)	=	1.16	inch
ตัวคูณความยาวประสิทธิผล (k)	=	0.5	
จำนวนสลักเกลียวที่ใช้	=	4	units
กำลังรับแรงเฉือนที่รับได้	=	26.87(119)	kips (kN)

$\therefore$ Bolt 4M20 **OK**

ก 2) ตัวอย่าทดสอบที่ 2 การออกแบบคานเหล็กเชื่อมต่อผนังรับแรงเฉือน (Link Beam)

ก 2.1) ออกแบบคานเหล็กเชื่อมต่อผนังรับแรงเฉือน (Link Beam)

คานเหล็กเชื่อมต่อผนังรับแรงเฉือนสำหรับตัวอย่างทดสอบที่ 2 จะมีวิธีการออกแบบแตกต่างกันออกไปเนื่องจากเป็นตัวอย่างทดสอบที่จะทำการออกแบบให้มีพฤติกรรมการครากแบบแรงดัด ซึ่งยังคงขนาดความกว้างและความสูงให้เคียงกันของเดิมอยู่และในการออกแบบนั้นจะยังคงใช้แรงเฉือนที่กระทำกึ่งกลางคานเหล็กสูงสุดไม่เกิน 10,000 กิโลกรัม เช่นเดิม โดยการออกแบบครั้งนี้จะทำกานเพิ่งการแข็งขึ้นของกำลัง 1.3 เท่าที่บริเวณเอวคานเหล็ก

$t_w=\frac{V_p}{0.6f_yh_{wl}}$	=	0.8(0.65)	cm^2
$V_{p(1.3V_p)}$	=	16,128	kg
$M_p=\frac{e}{2}V_{p(1.0V_p)}$	=	4,078	kg -m
$Z_x=\frac{M_p}{f_y}$	=	145.638	cm^3
t_f	=	0.8	cm
b_f	=	11.5	cm

M_p	=	4,103.6	kg –m
$\frac{2.6M_p}{V_p}$	=	0.66	m
$\therefore \quad (e = 0.812 \geq \frac{2.6M_p}{V_p})$ Long link			
Plate flange	=	40.6x11.5x0.8	cm
Plateweb	=	40.6x12x0.8	cm

เหล็กแผ่นความหนา 8 มิลลิเมตร

ชั้นคุณภาพ	=	SS400	
กำลังรับแรงที่จุดคราก (F_y)	=	2,800	ksc
กำลังรับแรงประลัย (F_u)	=	4,100	ksc

ก 2.2) ออกแบบจุดต่อยึดรั้งบางส่วน (Partially Restrained Connection)

ตัวอย่างทดสอบนี้จะใช้จุดต่อรูปแบบ Top and Seat Angle with Double Web Angle เป็นจุดต่อสำหรับยึดคานเหล็กเข้ากับผนังรับแรงเฉือน ซึ่งในการออกแบบจะใช้วิธี Three Parameter Power Model [9] ดังกล่าวมาในข้างต้น

$M = V_p \frac{e}{2}$	=	4.077	kg -m

โดยทำการเลือกขนาดสำหรับเหล็กฉากบน เหล็กฉากล่าง เหล็กฉากที่เอวคาน และสลักเกลียวที่เหมาะสมและสามารถรับแรงโมเมนต์ได้ ซึ่งตัวอย่างทดสอบที่ 2 จะใช้เหล็กฉาก L130x130x15 mm, L75x75x12 mm, สลักเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลิเมตร (M16) ccละสลักเกลียวสำหรับฝังกับผนังรับแรงเฉือนขนาดเส้นผ่านานศูนย์กลาง 20 มิลิเมตร (M20) เช่นเดียวกันกับตัวอย่างทดสอบที่ 1

การคำนวณค่า R_{ki}

EI_t	=	8,041,000	kN -mm^2
EI_s	=	8,041,000	kN -mm^2
EI_a	=	3,123,000	kN -mm^2

g_1	=	35.72	mm
g_3	=	19.22	mm
d_1	=	151	mm
l_{so}	=	103	mm
d_3	=	75.5	mm
K_{it}	=	10,610,000	kN –mm /rad
K_{is}	=	312,280	kN –mm /rad
K_{ia}	=	11,537,000	kN –mm /rad
$\therefore\ R_{ki}$	=	22,460	kN –mm /rad

การคำนวณค่า M_u

V_{ot}	=	300	kN
g_2	=	8.72	kN –mm /rad

จากความสัมพันธ์ $\left(\frac{V_{pt}}{V_{ot}}\right)^4 + \frac{g_2}{t_t}\left(\frac{V_{pt}}{V_{ot}}\right) - 1 = 0$

V_{pt}	=	254	kN
M_{pt}	=	1,107	kN –mm
M_{os}	=	2,256	kN –mm
V_{oa}	=	1.66	kN
g_y	=	21.5	mm

จากความสัมพันธ์ $\left(\frac{V_{pu}}{V_{oa}}\right)^4 + \frac{g_y}{t_a}\left(\frac{V_{pu}}{V_{oa}}\right) - 1 = 0$

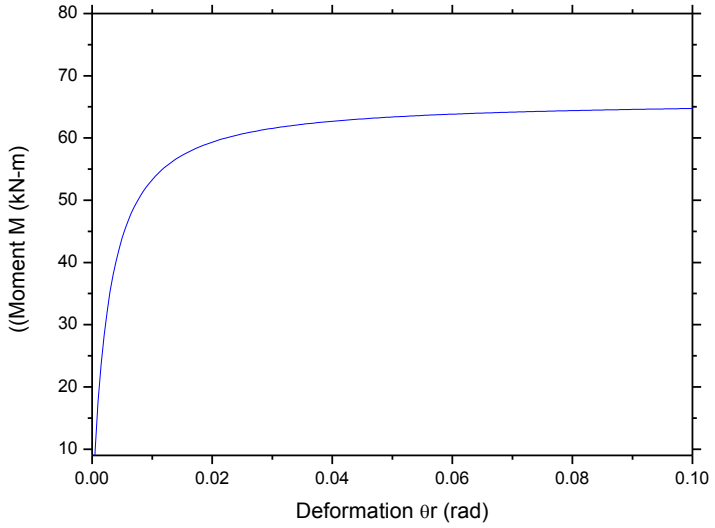
V_{pu}	=	0.86	kN
V_{pa}	=	138	kN
M_u	=	66,000	kN –mm

การคำนวณค่า n

θ_0	=	0.00293	radian
$\log\theta_0$	=	-2.531	

$\therefore \; n \;\; (\log\theta_0 = -2.63 > -2.721)$ = 1.091

จากรายการคำนวณการออกแบบจุดต่อที่ได้กล่าวมาในข้างต้นสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์โมเมนต์ดัดกับมุมการเสียรูปของตัวอย่างทดสอบที่ 2

จากความสัมพันธ์ (รูปที่ ก.2) สามารถใช้วิธี Bilinear Approximate ได้ค่าโมเมนต์ดัดได้ 4,106 กิโลกรัม –เมตร ที่มุมการเสียรูป 0.04 เรเดียน

ก 2.3) ตรวจสอบสลักเกลียวสำหรับยึดจุดต่อกับคานเหล็ก (Bolt)

ก 2.3.1) สลักเกลียวสำหรับยึดเหล็กฉากบนและล่างเข้ากับคานเหล็ก (Bolt at top and seat angle and beam flange)

จากการออกแบบจุดต่อได้เลือกสลักเกลียวสำหรับยึดเหล็กฉากบนที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร จำนวน 4 ตัว โดยแรงเฉือนที่สลักเกลียวนี้ได้รับคือ V_{pt} ซึ่งเท่ากับ 254 กิโลนิวตัน

พื้นที่หน้าตัดเฉือนของสลักเกลียว (M16)	=	2.01	cm^2
จำนวนสลักเกลียวที่ใช้	=	4	units
กำลังรับแรงเฉือนที่รับได้	=	38,350(376)	kg (kN)

$\therefore$ Bolt 4M16 **OK**

ก 2.3.2) สลักเกลียวสำหรับยึดเหล็กฉากที่เอวคานเหล็กเข้ากับคานเหล็ก (Bolt at web angle and beam web)

จากการออกแบบจุดต่อได้เลือกสลักเกลียวสำหรับยึดเหล็กฉากที่เอวคานเหล็กที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัว โดยแรงเฉือนที่สลักเกลียวนี้ได้รับคือ V_{pa} ซึ่งเท่ากับ 138 กิโลนิวตัน

พื้นที่หน้าตัดเฉือนของสลักเกลียว (M16)	=	2.01	cm^2
จำนวนสลักเกลียวที่ใช้	=	2	units
กำลังรับแรงเฉือนที่รับได้	=	38,350(376)	kg (kN)

$\therefore$ Bolt 2M16 **OK**

ก 2.4) ตรวจสอบสลักเกลียวสำหรับยึดจุดต่อกับคานเหล็ก (Anchor rod)

ก 2.4.1) สลักเกลียวสำหรับยึดเหล็กฉากบนและล่างกับผนัง (Anchor rod at top and seat angle and shear wall)

จากการออกแบบจุดต่อได้เลือก Anchor rod สำหรับยึดเหล็กฉากบนและล่างกับผนังไว้ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัว โดยแรงดึงที่สลักเกลียวนี้ได้รับคือ V_{pt} ซึ่งเท่ากับ 254 กิโลนิวตัน

พื้นที่หน้าตัดเฉือนของสลักเกลียว (M20)	=	3.14	cm^2
จำนวนสลักเกลียวที่ใช้	=	2	units
กำลังรับแรงเฉือนที่รับได้	=	45,144(442)	kg (kN)

$\therefore$ Bolt 2M20 **OK**

ก 2.4.2) สลักเกลียวสำหรับยึดเหล็กฉากที่เอวคานเหล็กกับผนัง (Anchor rod at web angle and shear wall)

จากการออกแบบจุดต่อได้เลือก Anchor rod สำหรับยึดเหล็กฉากที่เอวคานเหล็กกับผนังไว้ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร จำนวน 4 ตัว ซึ่ง Anchor rod ที่บริเวณนี้จะได้รับผลกระทบจากแรงดึง แรงเฉือน และแรงดัด ดังนั้นจึงต้องตรวจสอบผลกระทบของแรงทั้งสาม [12] และ [13] ดังนี้

$$\left(\frac{4P}{\pi d_u^2}+\frac{6klV}{d_u^3}\right)^2+\left(\frac{V}{0.15\pi d_u^2}\right)^2=\left(nF_u\right)^2 \qquad \text{(ก-5)}$$

โดยแรงดึง $(P=V_{pa})$ ที่รับมีค่าเท่ากับ 138 กิโลนิวตัน และแรงเฉือนที่กระทำที่กึ่งกลางคาน (V) เท่ากับ 98.1 กิโลนิวตัน

เส้นผ่านศูนย์กลางที่คิดผลเกลียว (d_u)	=	0.642	inch
ความยาวช่วงดัด (l)	=	1.16	inch
ตัวคูณความยาวประสิทธิผล (k)	=	0.5	
จำนวนสลักเกลียวที่ใช้	=	4	units
กำลังรับแรงเฉือนที่รับได้	=	27.55(122)	kips (kN)

$\therefore$ Bolt 4M20 **OK**

ก 3) การจำลองผนังรับแรงเฉือน (Shear wall)

ผนังรับแรงเฉือนจะจำลองเพียงเฉพาะส่วนที่ได้รับผลกระทบเท่านั้น โดยงานวิจัยนี้จะทำการจำลองให้ผนังรับแรงเฉือนมีลักษณะเหมือนกับงานวิจัยในอดีต [7] แต่ด้วยลักษณะของห้องปฏิบัติจึงทำให้ไม่สามารถทำให้เหมือนกันได้ ดังนั้นการออกแบบจึงต้องออกแบบให้อัตราส่วนปริมาณเหล็กเสริมต่อหน้าตัดผนังรับแรงเฉือน (ρ) ใกล้เคียงกัน

ρ_{gong}	=	0.0149	
$A_s=A_g\rho_{gong}$	=	15.35	cm^2
จำนวนเหล็กตามแนวแกน	=	20	units
เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กตามแนวแกน	=	1(0.988)	cm

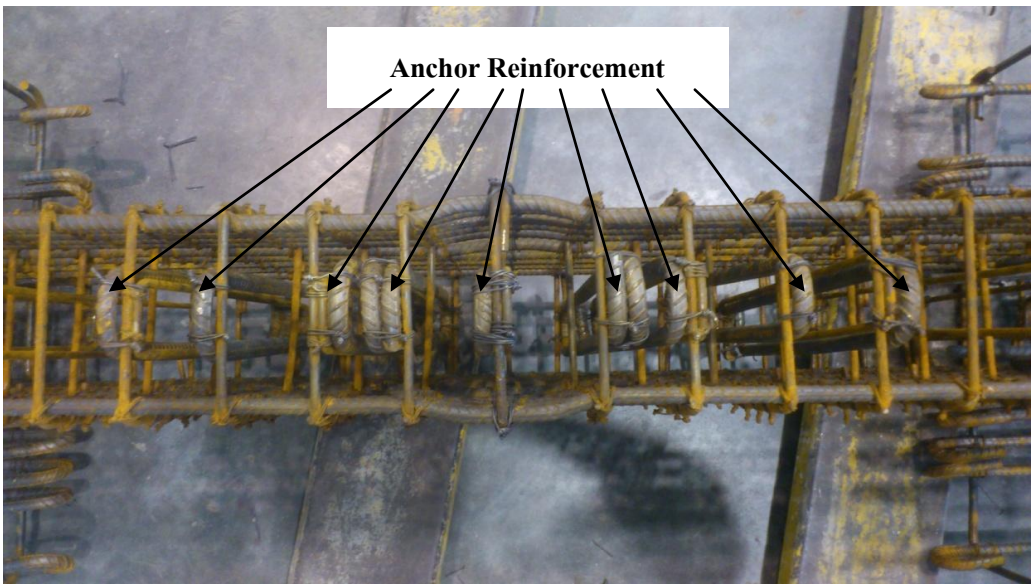
$\therefore$ Steel reinforcement 20DB10 OK

เนื่องจากผนังรับแรงเฉือนมีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากัน ดังนั้นปริมาณเหล็กตามขว้างจึงใช้เท่ากันกับงานวิจัยที่ผ่านมา โดยเหล็กตามขว้างใช้ที่ชั้นคุณภาพ SD24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์ 6 มิลลิเมตร (RB6) ที่ระยะห่าง Spacing 5.1 เซนติเมตร

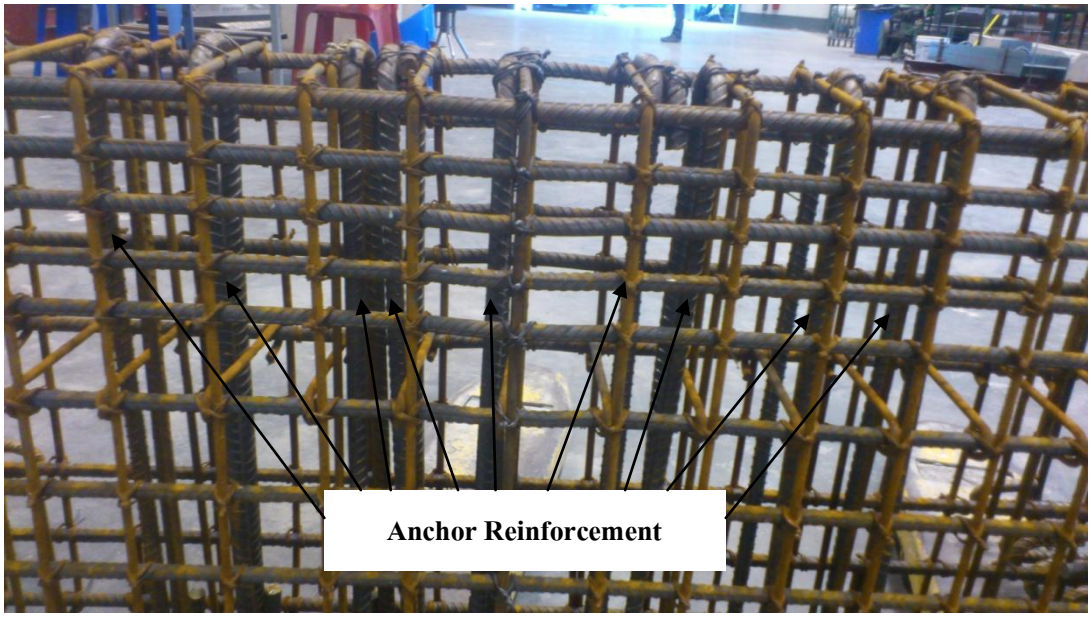
สำหรับผนังรับแรงเฉือนในงานวิจัยนี้จะออกแบบไม่ให้ผนังรับแรงเฉือนเกิดการเสียหายจึงใช้การเสริมเหล็กเสริมพิเศษบริเวณสลักเกลียวสำหรับฝังกับคอนกรีต ซึ่งเหล็กเสริมพิเศษจะต้องอยู่บริเวณใกล้เคียงกับ Anchor rodไม่เกิน 0.5 เท่าของระยะฝังของ Anchor rod โดยปริมาณเหล็กเสริมพิเศษสามารถหาได้ดังนี้

M	=	4,077	kg –m
ระยะแขนของแรงดึงถอน	=	21.4	cm
แรงดึงถอนสลักเกลียว T $(V_{pt}+V_{pa})$	=	44,989	kg
พื้นที่หน้าตัดเหล็กกลม (RB6)	=	1.13	cm^2
หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (F_y)	=	4,000	ksc
จำนวนเหล็กกลมที่สามารถนำมาคำนวณได้	=	16	units
$n=\frac{T}{0.75A_{gb}f_y}$	=	14(13.27)	units

แต่ด้วยเป็นแรงสลับทิศ Anchor rod จะสลับกันรับแรง เพื่อให้ผนังรับแรงเฉือนไม่เสียหายทั้งแรงดึงและแรงผลัก การเสริมเหล็กเสริมพิเศษจึงต้องเสริมให้ครอบคลุมทั้งสองแรง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้เหล็กเสริมพิเศษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร จำนวน 18 เส้น ดังรูปที่ ก.3 และ ก.4



รูปที่ ก.3 เหล็กเสริมพิเศษตามขวางด้านบน



รูปที่ ก.4 เหล็กเสริมพิเศษตามขวางด้านข้าง