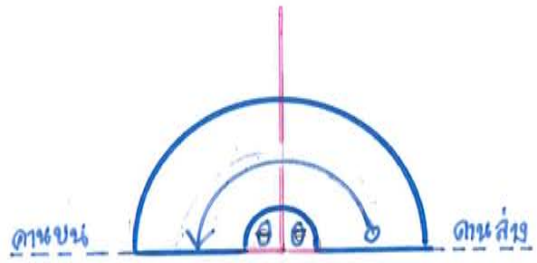
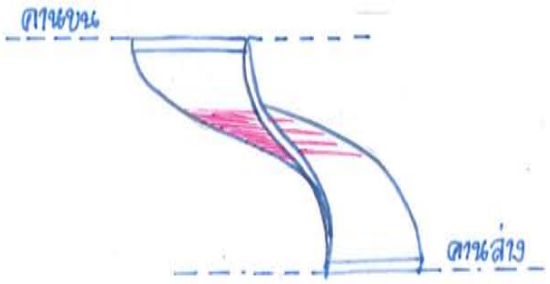
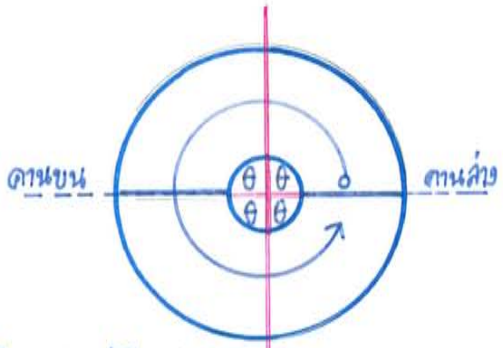
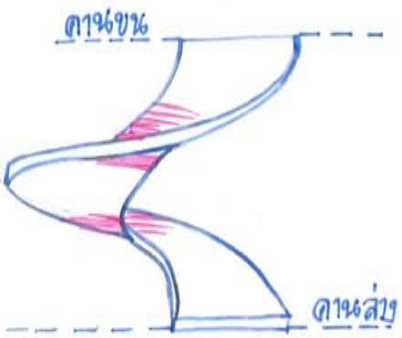
บันไดเวียน (Helical Stair)



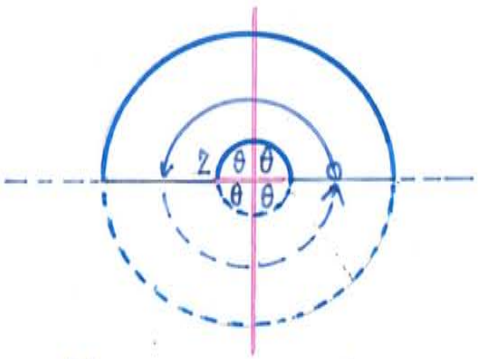


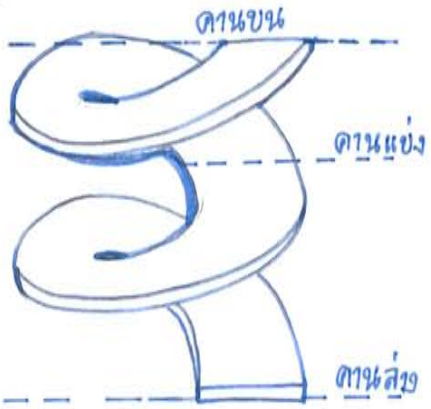
① บันไดเวียนครึ่งรอบ $\theta+\theta = 90^\circ+90^\circ = 180^\circ \leq 360^\circ$ / ok





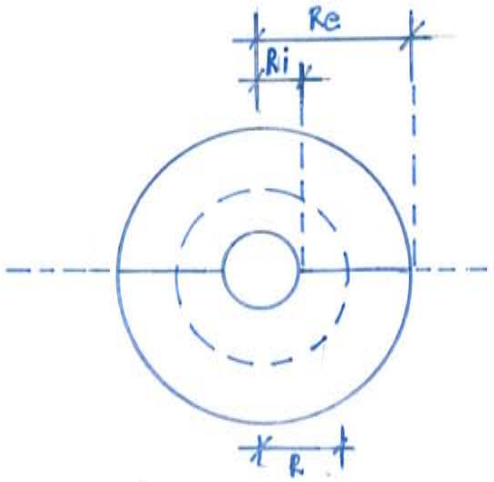
② บันไดเวียนหนึ่งรอบ $4\theta = 4(90^\circ) = 360^\circ \leq 360^\circ$ / ok

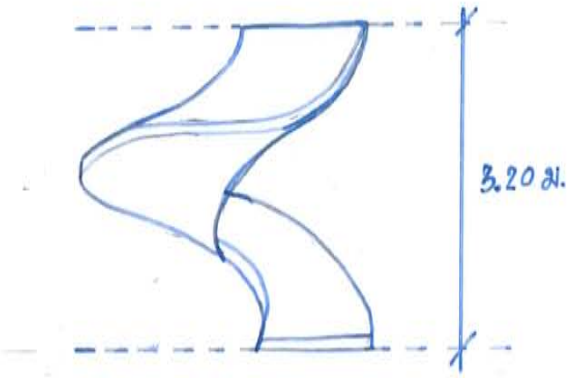




③ บันไดเวียนสองรอบ (บันไดเกลียว) $2\times4\theta = 2\times4(90^\circ) = 720^\circ > 360^\circ$ / NG

มุมของบันไดเวียนไม่ควรเกินหนึ่งรอบ หรือ $\leq 360^\circ$ หากเกินควรใช้คานแข่ง ตามแบบ ③ นั้นตามมีคานแข่ง แรงที่กระทำต่อบันได มีทั้งโมเมนต์แนวดิ่ง, โมเมนต์ด้านข้าง โมเมนต์บิด, แรงแนวแกน, แรงเนื่องแนวดิ่ง และแรงเฉือนตามรัศมี ลักษณะการออกแบบและเสริมเหล็กเป็นรูปแบบคานแขน





บันไดเวียน กว้าง 1.5 ม. น.น. บรรทุกจร 300 กก./ม.^{2} น.น.วัสดุปูผิว 50 กก./ม.^{2}

ความสูง 3.20 ม. f'_c = 280 กก./ซม.^{2} f_y = 4000 กก./ซม.^{2}

ขั้นตอนที่ 1: น้ำหนักบันได

ลูกตั้ง = 0.1778 ม.

จำนวนลูกตั้ง = 3.2/0.1778 = 18 ชั้น

ขอบใน บันได กว้าง 0.10 ม. ทั้งหมด 17 ขั้น ลูกนอน

$17(0.10) = 360(\pi/360)R_i$

รัศมีขอบใน R_i = 0.5412 ม. ใช้ 0.75 ม.

รัศมีขอบนอก R_e = 0.75 + 1.50 = 2.25 ม.

รัศมีกลางบันได R = 0.75 + 1.50/2 = 1.50 ม.

ลูกนอนกลางบันได = $\frac{150\pi}{17}\left[\frac{360}{360}\right]$ = 27.72 ซม.

ความยาวบันได วัดจากรัศมีกลางบันได 9.66 ม.

ใช้ความหนา 35 ซม. d = 35 - (2.5 + 2.5/2) = 31.25 ซม. สุ่มมติใช้เหล็ก DB25

น.น. พื้นบันได = $0.35(2400)\frac{\sqrt{27.72^2+17.78^2}}{27.72}$ = 998 กก./ม.^{2}

น.น. ขั้นบันได = 0.5(0.1778)(2400) = 213 กก./ม.^{2}

น.น. จร = 300 กก./ม.^{2}

น.น. วัสดุปูผิว = 50 กก./ม.^{2}

น.น. บรรทุก ทั้งหมด W = 1561 กก/ม.²

FACTOR 1.4 DL + 1.7 LL ACI 318-89

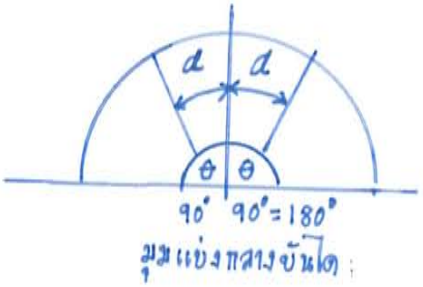
น.น. บรรทุก เพิ่มค่า Wu = 1.4(1261) + 1.7(300) = 2276 กก./ม.²

น.น. แผ่ต่อความยาว Wub = 2276 × 1.5 = 3414 กก./ม.

อัตราส่วน b/h = 1.5/0.1778 = 8.436

อัตราส่วนสติฟเนส แรงดัด ต่อ แรงยึด K = 0.64

$$U = \frac{2(K+1)\sin\theta - 2K\theta\cos\theta}{(K+1)\theta - (K-1)\sin\theta\cos\theta} = 0.76$$



ขั้นตอนที่ 2 : โมเมนต์ดัดแนวดิ่งตามยาวของบันได

แนวกลาง $M_c = WR^2(U-1) = 3414(1.5)^2(0.76-1) = 1844$ กก.-ม.

$$R_n = \frac{M_u}{\phi bd^2} = \frac{1844 \times 100}{0.90(150)(31.25)^2} = 1.39 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\rho = \frac{0.85f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85f'_c}}\right] = 0.000348$$

$\rho_{min} = 0.0035$ $\rho_{max} = 0.0229$

$\rho < \rho_{min}$ ใช้ ρ_{min}

$A_s = 0.0035 \times 100 \times 35 = 12.25$ ซม.²/1 ม.

ใช้ DB20 @ 0.20 (A_s = 15.70 ซม.²)

ที่ปลายช่วง มุม 180°

$$M = WR^2(U\cos\alpha - 1) = 3414(1.5)^2(0.76\cos 180^\circ - 1) = -13519 \text{ กก.-ม.}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi bd^2} = \frac{13519 \times 100}{0.90 \times (150)(31.25)^2} = 10.25 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\rho = \frac{0.85f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85f'_c}}\right] = 0.00262 < \rho_{min}$$

A_s = 12.25 ซม.²/1 ม. ใช้ DB20 @ 0.20

ขั้นตอนที่ 4 : โมเมนต์บิดในแนวนอน ตามความกว้างชั้นได

ที่ปลายมุม $\alpha = 180^\circ$

$$T_u = WR^2(u\sin\alpha - \alpha) = 3414(1.5)^2(0.76\sin 180^\circ - (180^\circ/360^\circ)\pi)$$

$$= -12066 \text{ กก.-ม.}$$

โมเมนต์บิดแตกร้าว หน้าตัด 1.5×0.35 ม.

$$A_{cp} = 150 \times 35 = 5250 \text{ ซม.}^2$$

$$P_{cp} = 2(150+35) = 370 \text{ ซม.}$$

$$\frac{\phi T_{cr}}{4} = \frac{0.27 \times 0.85\sqrt{280} \times 5250^2}{370 \times 100} = 2860 \text{ กก.-ม.} < T_u$$

หน้าตัดนี้ รับโมเมนต์บิดไม่ได้ ต้องเสริมเหล็กต้านทานการบิด

ขั้นตอนที่ 5 : แรงเฉือนในแนวดิ่ง

ที่ปลายมุม $\alpha = 180^\circ$

$$V_u = WR\alpha = 3414(1.5)(180/360)\pi = 8044 \text{ กก.}$$

$$\phi V_c = 0.85(0.53)\sqrt{280}(150)(31.25) = 35335 \text{ กก.} > V_u$$

ผลรวม แรงเฉือนและโมเมนต์บิด

$$b_d = 150 \times 31.25 = 4687.5 \text{ ซม.}^2$$

$$X_o = 150 - 2(2.5 + (2.5/2)) = 142.5 \text{ ซม.}$$

$$Y_o = 35 - 2(2.5 + 2.5/2) = 27.5 \text{ ซม.}$$

$$A_{oh} = X_o Y_o = 142.5 \times 27.5 = 3918.75 \text{ ซม.}^2$$

$$A_o = 0.85 A_{oh} = 0.85 \times 3918.75 = 3330 \text{ ซม.}^2$$

$$P_h = 2(142.5 + 27.5) = 350 \text{ ซม.}$$

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{bd}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \le \phi\left(\frac{V_c}{bd} + 2.1\sqrt{f'_c}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{8044}{150 \times 31.25}\right)^2 + \left(\frac{12066 \times 100 \times 350}{1.7 \times 3918.75^2}\right)^2} \le 0.85(0.53 + 2.1)\sqrt{280}$$

$$16.26 \text{ กก./ซม.}^2 \le 37.40 \text{ กก./ซม.}^2$$

ขั้นตอนที่ 6: เหล็กปลอกลูกตั้ง

ลูกตั้งรับแรงเฉือนได้จาก $Vu < \phi Vc$ จึงไม่เสริมเหล็ก

ลูกตั้งรับโมเมนต์บิด

$$\frac{At}{s} = \frac{Tu}{2\phi f_{yv} A_o} = \frac{12066 \times 100}{2 \times 0.85 \times 4000 \times 3330} = 0.0532 \text{ ซม.}$$

ใช้ลูกตั้ง $\frac{Amin}{s} = \frac{3.5b}{f_{yv}} = \frac{3.5 \times 150}{4000} = 0.131 \text{ ซม.} > 0.0532$

ใช้เหล็กลูกตั้ง DB12 ($CAv = 2\pi 1 = 2.26 \text{ ซม.}^2$)

ระยะห่าง $s = \frac{2.26}{0.131} = 17.25 \text{ ซม.}$

ใช้ DB12 @ 0.15 ม.

ขั้นตอนที่ 7: เสริมเหล็กตามยาวรับโมเมนต์บิด

ที่ปลายช่วงบันได $Al = \frac{At}{s} Ph \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}}\right) = 0.131 \times 350 = 45.85 \text{ ซม.}^2$

$\frac{Al}{Ph} = \frac{45.85}{3.50} = 13.1 \text{ ซม.}^2/\text{ม.}$

ใช้ DB16@0.15 ($CAs = 13.40 \text{ ซม.}^2$)

DB16 พอใช้แทน
DB20ข้างต้น

ขั้นตอนที่ 8: การโก่งตัว

พิจารณาเป็นคานยาว 9.66 ม. แม้ว่าคานจริงจะเป็นโครง เพื่อความปลอดภัย

$W(D.L) = 1261 \times 1.5 = 1891$ $M = WL^2/12 = 14704 \text{ กก.ม.}$

$B = b/nAs = 0.925$ ซม. $\gamma = \frac{(n-1)A's}{nAs} = 0.876$

$x = \left[\sqrt{2dB(1+\gamma d'/d) + (1+\gamma)^2} - (1+\gamma)\right]/B = 6.422$ ซม.

$Ig = 535,938 \text{ ซม.}^4$ $Icr = 102,028 \text{ ซม.}^4 < Ig.$

$Mcr = \frac{f_r Ig}{yt} = 10250 \text{ กก./ม.}$

$Ie = \left[\frac{Mcr}{Ma}\right]^3 Ig + \left[1 - \left[\frac{Mcr}{Ma}\right]^3\right] Icr = 249,123 \text{ ซม.}^4 < Ig$ /ok

$\Delta L/240 = 4.025$ ซม.

$\Delta D = \frac{wL^4}{384EI} = \frac{1891 \times (966)^4}{384 \times 100 \times 151000\sqrt{280} \times 249123} = 0.681 \text{ ซม.}$ /ok

W(D.L + L.L) = 1561 × 1.5 = 2341 $M = WL^2/12$ = 18204 m.-kg.

M_{cr}/M_a = 0.5630

I_e = 179,264 cm^4 < I_g / ok

$\Delta L/240$ = 4.025 cm.

$$\Delta D = \frac{WL^4}{384EI} = \frac{2341 \times (966)^4}{384 \times 100 \times 15100\sqrt{280} \times 179264} = 1.17 \text{ cm} < \Delta L \text{ / ok}$$