

b. 하부구조(P8)

1) 검토 제목 : P8

2) 설계조건

콘크리트 설계기준 강도 (f_{ck}) : 24 MPa
철근 항복강도 (f_y) : 300 MPa
강재 항복강도 (f_{sy}) : 0 MPa
콘크리트 탄성계수 (E_c) : 29220 MPa
철근 설계피복두께 (d') : 100.0 mm
횡방향 철근 형태 : 띠 철근

3) 중공 사각형단면 검토조건

외부 단면 폭 (B_o) : 5000.00 mm
외부 단면 높이 (H_o) : 6800.00 mm
내부 단면 폭 (B_i) : 3200.00 mm
내부 단면 높이 (H_i) : 5000.00 mm
비지지 길이 (L_u) : 44248.00 mm
유효길이계수 (K_x) : 2.10
유효길이계수 (K_y) : 2.10

4) 사용 강재량

(1) 사용 철근량

- 1단 철근 : $D29 \times 182ea = 116916.8 \text{ mm}^2$ (외측, $d_c = 100.0 \text{ mm}$)
 $D29 \times 138ea = 88651.2 \text{ mm}^2$ (내측, $d_c = 100.0 \text{ mm}$)
- 총 사용 철근량 : $A_{st} = 205568.0 \text{ mm}^2$

5) 공칭 강도 검토

(1) Load Case 1

① 작용하중

계수축하중 : $P_u = 50895.931 \text{ KN}$
계수모멘트(X) : $M_{ux} = 10639.883 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{ux.ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{ux.s} = 10639.883 \text{ KN}\cdot\text{m}$
X축 세장비 : $\lambda_x = 39.9$
Y축 세장비 : $\lambda_y = 52.1$
지속 계수하중비 : $\beta_{dx} = 1.000$
 $\beta_{dy} = 1.000$
X축 확대계수 : $\delta_{x.ns} = 1.000$
 $\delta_{x.s} = 1.116$
Y축 확대계수 : $\delta_{y.ns} = 1.000$
 $\delta_{y.s} = 1.216$

X축 확대모멘트 : $\delta M_{ux} = 11874.865 \text{ KN}\cdot\text{m}$

Y축 확대모멘트 : $\delta M_{uy} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$

합성 확대모멘트 : $\delta M_u = 11874.865 \text{ KN}\cdot\text{m}$

중립축 회전각 : $\theta_{rot} = 0.000^\circ$

최 소 편 심 : $e_{min} = 745.90 \text{ mm}$

작 용 편 심 : $e = 233.32 \text{ mm}$

② 평형상태 계산

중립축 $x = 600 / (600 + f_y) \times d = 4466.667 \text{ mm}$

평 형 편 심 : $e_b = 2321.33 \text{ mm}$

최외단철근변형률 : $\epsilon_t = 0.0015$

강 도 감 소 계 수 : $\phi = 0.650$

평 형 축 하 중 : $\phi P_b = 136729.03 \text{ KN}$

평 형 모 멘 트 : $\phi M_b = 317393.43 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$\therefore e \leq e_{min} \rightarrow$ 최소편심 구간

③ 단면강도 검토

사용철근비 : $P_{used} = 1.142 \%$

$\alpha P_n = \alpha \times \{0.85 f_{ck} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} = 339741.400 \text{ KN}$

$M_n = \alpha P_n \times e_{min} = 253413.888 \text{ KN}\cdot\text{m}$

강도 감 소 계 수 : $\phi = 0.650$

축력 감 소 계 수 : $\alpha = 0.800$

설계축하중강도 : $\alpha \phi P_n = 220831.938 \text{ KN} \geq P_u = 50895.931 \text{ KN} \therefore \text{O.K}$

설 계 휨 강 도 : $\phi M_n = 164719.027 \text{ KN}\cdot\text{m} \geq M_u = 11874.865 \text{ KN}\cdot\text{m} \therefore \text{O.K}$

(2) Load Case 2

① 작용하중

계수축하중 : $P_u = 44466.999 \text{ KN}$

계수모멘트(X) : $M_{ux} = 93420.669 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{ux,ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{ux,s} = 93420.669 \text{ KN}\cdot\text{m}$

계수모멘트(Y) : $M_{uy} = 25961.562 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{uy,ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{uy,s} = 25961.562 \text{ KN}\cdot\text{m}$

X축 세장비 : $\lambda_x = 39.9$

Y축 세장비 : $\lambda_y = 52.1$

지속 계수하중비 : $\beta_{dx} = 1.000$

: $\beta_{dy} = 1.000$

X축 확대계수 : $\delta x.ns = 1.000$
 : $\delta x.s = 1.100$
 Y축 확대계수 : $\delta y.ns = 1.000$
 : $\delta y.s = 1.184$
 X축 확대모멘트 : $\delta Mux = 102757.515 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 Y축 확대모멘트 : $\delta Muy = 30731.752 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 합성 확대모멘트 : $\delta Mu = 107254.592 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 중립축 회전각 : $\theta_{rot} = 27.062^\circ$
 최 소 편 심 : $e_{min} = 733.96 \text{ mm}$
 작 용 편 심 : $e = 2412.00 \text{ mm}$

② 평형상태 계산

중립축 $x = 600 / (600 + f_y) \times d = 5485.339 \text{ mm}$
 평 형 편 심 : $e_b = 1975.51 \text{ mm}$
 최외단철근변형률 : $\epsilon_t = 0.00148$
 강 도 감 소 계 수 : $\phi = 0.650$
 평 형 축 하 중 : $\phi P_b = 144756.43 \text{ KN}$
 평 형 모 멘 트 : $\phi M_b = 285967.26 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $\therefore e_b < e \rightarrow$ 인장지배 구간

③ 단면강도 검토

중립축을 가정하여 Trial & Error Method로 검토한다.
 중립축 $x = 4849.694 \text{ mm}$ 로 가정하면...
 $e' = M_n/P_n = 2412.004 \text{ mm} \approx e = 2412.004 \text{ mm} \rightarrow \text{say O.K.}$
 사용철근비 : $P_{used} = 1.142 \%$
 최외단 철근의 순인장변형률 $\epsilon_t = 0.00207$
 $\epsilon_y = 0.0015 < \epsilon_t = 0.00207 < 0.005 \rightarrow$ 변화구간단면
 $\epsilon_y < \epsilon_t < 0.005$ 이므로 0.65 ~ 0.85 사이에서 강도감소계수를 보간한다.
 강도 감소 계수 : $\phi = 0.682$
 설계축하중강도 : $\phi P_n = 130176.334 \text{ KN} \geq P_u = 44466.999 \text{ KN} \therefore \text{O.K}$
 설 계 휨 강 도 : $\phi M_n = 313985.875 \text{ KN}\cdot\text{m} \geq M_u = 107254.592 \text{ KN}\cdot\text{m} \therefore \text{O.K}$

(3) Load Case 3

① 작용하중

계수축하중 : $P_u = 48354.261 \text{ KN}$
 계수모멘트(X) : $M_{ux} = 53143.752 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{ux.ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{ux.s} = 53143.752 \text{ KN}\cdot\text{m}$

계수모멘트(Y) : $M_{uy} = 12980.781 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{uy.ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{uy.s} = 12980.781 \text{ KN}\cdot\text{m}$

X축 세장비 : $\lambda_x = 39.9$

Y축 세장비 : $\lambda_y = 52.1$

지속 계수하중비 : $\beta_{dx} = 1.000$

: $\beta_{dy} = 1.000$

X축 확대계수 : $\delta_{x.ns} = 1.000$

: $\delta_{x.s} = 1.110$

Y축 확대계수 : $\delta_{y.ns} = 1.000$

: $\delta_{y.s} = 1.203$

X축 확대모멘트 : $\delta M_{ux} = 58970.382 \text{ KN}\cdot\text{m}$

Y축 확대모멘트 : $\delta M_{uy} = 15616.718 \text{ KN}\cdot\text{m}$

합성 확대모멘트 : $\delta M_u = 61003.179 \text{ KN}\cdot\text{m}$

중립축 회전각 : $\theta_{rot} = 24.342^\circ$

최 소 편 심 : $e_{min} = 736.49 \text{ mm}$

작 용 편 심 : $e = 1261.59 \text{ mm}$

② 평형상태 계산

중립축 $x = 600 / (600 + f_y) \times d = 5436.221 \text{ mm}$

평 형 편 심 : $e_b = 2013.83 \text{ mm}$

최외단철근변형률 : $\epsilon_t = 0.00148$

강 도 감 소 계 수 : $\phi = 0.650$

평 형 축 하 중 : $\phi P_b = 144070.04 \text{ KN}$

평 형 모 멘 트 : $\phi M_b = 290133.19 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$\therefore e_{min} < e < e_b \rightarrow$ 압축지배 구간

③ 단면강도 검토

중립축을 가정하여 Trial & Error Method로 검토한다.

중립축 $x = 6866.415 \text{ mm}$ 로 가정하면...

$e' = M_n/P_n = 1261.588 \text{ mm} \approx e = 1261.588 \text{ mm} \rightarrow \text{say O.K.}$

사용철근비 : $P_{used} = 1.142 \%$

최외단 철근의 순인장변형률 $\epsilon_t = 0.00055$

$\epsilon_t = 0.00055 \leq \epsilon_y = 0.0015 \rightarrow$ 압축지배단면

강도 감소 계수 : $\phi = 0.650$

설계축하중강도 : $\phi P_n = 186415.508 \text{ KN} \geq P_u = 48354.261 \text{ KN} \therefore \text{O.K}$

설 계 휨 강 도 : $\phi M_n = 235179.659 \text{ KN}\cdot\text{m} \geq M_u = 61003.179 \text{ KN}\cdot\text{m} \therefore \text{O.K}$

(4) Load Case 4

① 작용하중

계수축하중 : $P_u = 48354.261 \text{ KN}$
계수모멘트(X) : $M_{ux} = 6433.418 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{ux.ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{ux.s} = 6433.418 \text{ KN}\cdot\text{m}$
계수모멘트(Y) : $M_{uy} = 62243.033 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{uy.ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{uy.s} = 62243.033 \text{ KN}\cdot\text{m}$
X축 세장비 : $\lambda_x = 39.9$
Y축 세장비 : $\lambda_y = 52.1$
지속 계수하중비 : $\beta_{dx} = 1.000$
 : $\beta_{dy} = 1.000$
X축 확대계수 : $\delta_{x.ns} = 1.000$
 : $\delta_{x.s} = 1.110$
Y축 확대계수 : $\delta_{y.ns} = 1.000$
 : $\delta_{y.s} = 1.203$
X축 확대모멘트 : $\delta M_{ux} = 7138.772 \text{ KN}\cdot\text{m}$
Y축 확대모멘트 : $\delta M_{uy} = 74882.387 \text{ KN}\cdot\text{m}$
합성 확대모멘트 : $\delta M_u = 75221.898 \text{ KN}\cdot\text{m}$
중립축 회전각 : $\theta_{rot} = 86.806^\circ$
최 소 편 심 : $e_{min} = 551.11 \text{ mm}$
작 용 편 심 : $e = 1555.64 \text{ mm}$

② 평형상태 계산

중립축 $x = 600 / (600 + f_y) \times d = 3510.755 \text{ mm}$
평 형 편 심 : $e_b = 1843.74 \text{ mm}$
최외단철근변형률 : $\epsilon_t = 0.0015$
강 도 감 소 계 수 : $\phi = 0.650$
평 형 축 하 중 : $\phi P_b = 134681.97 \text{ KN}$
평 형 모 멘 트 : $\phi M_b = 248318.31 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $\therefore e_{min} < e < e_b \text{ ----> 압축지배 구간}$

③ 단면강도 검토

중립축을 가정하여 Trial & Error Method로 검토한다.

중립축 $x = 3971.412 \text{ mm}$ 로 가정하면...

$e' = M_n/P_n = 1555.642 \text{ mm} \quad \therefore \quad e = 1555.642 \text{ mm} \text{ ----> say O.K.}$

사용철근비 : $P_{used} = 1.142 \%$

최외단 철근의 순인장변형률 $\epsilon_t = 0.00097$

$\epsilon_t = 0.00097 \leq \epsilon_y = 0.0015$ -----> 압축지배단면

강도 감소 계수 : $\phi = 0.650$

설계축하중강도 : $\phi P_n = 150183.851 \text{ KN} \geq P_u = 48354.261 \text{ KN} \therefore \text{O.K}$

설 계 휨 강 도 : $\phi M_n = 233632.240 \text{ KN}\cdot\text{m} \geq M_u = 75221.898 \text{ KN}\cdot\text{m} \therefore \text{O.K}$

(5) Load Case 5

① 작용하중

계수축하중 : $P_u = 42756.730 \text{ KN}$

계수모멘트(X) : $M_{ux} = 89827.566 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{ux,ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{ux,s} = 89827.566 \text{ KN}\cdot\text{m}$

계수모멘트(Y) : $M_{uy} = 84812.110 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{uy,ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{uy,s} = 84812.110 \text{ KN}\cdot\text{m}$

X축 세장비 : $\lambda_x = 39.9$

Y축 세장비 : $\lambda_y = 52.1$

지속 계수하중비 : $\beta_{dx} = 1.000$

: $\beta_{dy} = 1.000$

X축 확대계수 : $\delta_{x,ns} = 1.000$

: $\delta_{x,s} = 1.096$

Y축 확대계수 : $\delta_{y,ns} = 1.000$

: $\delta_{y,s} = 1.175$

X축 확대모멘트 : $\delta M_{ux} = 98426.958 \text{ KN}\cdot\text{m}$

Y축 확대모멘트 : $\delta M_{uy} = 99691.017 \text{ KN}\cdot\text{m}$

합성 확대모멘트 : $\delta M_u = 140093.415 \text{ KN}\cdot\text{m}$

중립축 회전각 : $\theta_{rot} = 59.974^\circ$

최 소 편 심 : $e_{min} = 649.63 \text{ mm}$

작 용 편 심 : $e = 3276.52 \text{ mm}$

② 평형상태 계산

중립축 $x = 600 / (600 + f_y) \times d = 5084.895 \text{ mm}$

평 형 편 심 : $e_b = 1652.05 \text{ mm}$

최외단철근변형률 : $\epsilon_t = 0.00148$

강 도 감 소 계 수 : $\phi = 0.650$

평 형 축 하 중 : $\phi P_b = 146502.82 \text{ KN}$

평 형 모 멘 트 : $\phi M_b = 242029.71 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$\therefore e_b < e$ -----> 인장지배 구간

③ 단면강도 검토

중립축을 가정하여 Trial & Error Method로 검토한다.

중립축 $x = 3235.535$ mm 로 가정하면...

$$e' = M_n/P_n = 3276.523 \text{ mm} \quad \approx \quad e = 3276.523 \text{ mm} \quad \text{----> say O.K.}$$

$$\text{사용철근비} : P_{used} = 1.142 \%$$

$$\text{계수축력 } P_u < 0.1 \cdot f_{ck} \cdot A_g = 43200.000 \text{ KN} \quad \text{이므로..}$$

$$\text{순인장변형률 } \epsilon_t = 0.004038 \geq 0.004 \quad \dots \therefore \text{O.K}$$

$$\text{최외단 철근의 순인장변형률 } \epsilon_t = 0.00404$$

$$\epsilon_y = 0.0015 < \epsilon_t = 0.00404 < 0.005 \quad \text{-----> 변화구간단면}$$

$$\epsilon_y < \epsilon_t < 0.005 \quad \text{이므로 } 0.65 \sim 0.85 \text{ 사이에서 강도감소계수를 보간한다.}$$

$$\text{강도 감소 계수} : \phi = 0.795$$

$$\text{설계축하중강도} : \phi P_n = 88162.343 \text{ KN} \geq P_u = 42756.730 \text{ KN} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$\text{설 계 휨 강 도} : \phi M_n = 288865.954 \text{ KN}\cdot\text{m} \geq M_u = 140093.415 \text{ KN}\cdot\text{m} \quad \therefore \text{O.K}$$

(6) Load Case 6

① 작용하중

$$\text{계수축하중} : P_u = 46494.481 \text{ KN}$$

$$\text{계수모멘트(X)} : M_{ux} = 51099.762 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ux.ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ux.s} = 51099.762 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$\text{계수모멘트(Y)} : M_{uy} = 72330.590 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$M_{uy.ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$M_{uy.s} = 72330.590 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$\text{X축 세장비} : \lambda_x = 39.9$$

$$\text{Y축 세장비} : \lambda_y = 52.1$$

$$\text{지속 계수하중비} : \beta_{dx} = 1.000$$

$$: \beta_{dy} = 1.000$$

$$\text{X축 확대계수} : \delta_{x.ns} = 1.000$$

$$: \delta_{x.s} = 1.105$$

$$\text{Y축 확대계수} : \delta_{y.ns} = 1.000$$

$$: \delta_{y.s} = 1.194$$

$$\text{X축 확대모멘트} : \delta M_{ux} = 56464.190 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Y축 확대모멘트} : \delta M_{uy} = 86344.005 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$\text{합성 확대모멘트} : \delta M_u = 103167.301 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$\text{중립축 회전각} : \theta_{rot} = 69.053^\circ$$

$$\text{최 소 편 심} : e_{min} = 611.53 \text{ mm}$$

$$\text{작 용 편 심} : e = 2218.92 \text{ mm}$$

② 평형상태 계산

$$\text{중립축 } x = 600 / (600 + f_y) \times d = 4663.954 \text{ mm}$$

$$\text{평 형 편 심 : } e_b = 1694.65 \text{ mm}$$

$$\text{최외단철근변형률 : } \epsilon_t = 0.00148$$

$$\text{강 도 감 소 계 수 : } \phi = 0.650$$

$$\text{평 형 축 하 중 : } \phi P_b = 142323.10 \text{ KN}$$

$$\text{평 형 모 멘 트 : } \phi M_b = 241187.97 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$\therefore e_b < e \rightarrow \text{인장지배 구간}$$

③ 단면강도 검토

중립축을 가정하여 Trial & Error Method로 검토한다.

중립축 $x = 3835.284 \text{ mm}$ 로 가정하면...

$$e' = M_n/P_n = 2218.915 \text{ mm} \quad \therefore e = 2218.915 \text{ mm} \rightarrow \text{say O.K.}$$

$$\text{사용철근비 : } P_{used} = 1.142 \%$$

$$\text{최외단 철근의 순인장변형률 } \epsilon_t = 0.00245$$

$$\epsilon_y = 0.0015 < \epsilon_t = 0.00245 < 0.005 \rightarrow \text{변화구간단면}$$

$\epsilon_y < \epsilon_t < 0.005$ 이므로 0.65 ~ 0.85 사이에서 강도감소계수를 보간한다.

$$\text{강도 감 소 계 수 : } \phi = 0.704$$

$$\text{설계축하중강도 : } \phi P_n = 123901.738 \text{ KN} \geq P_u = 46494.481 \text{ KN} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$\text{설 계 휨 강 도 : } \phi M_n = 274927.424 \text{ KN}\cdot\text{m} \geq M_u = 103167.301 \text{ KN}\cdot\text{m} \quad \therefore \text{O.K}$$